

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL
OF APPLIED AND
FUNDAMENTAL RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,570

№ 8 2020

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,277

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алов В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,570.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать 28.08.2020

Дата выхода номера 29.09.2020

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 10,75

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2020/8

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ПСИХИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Быструшкин С.К., Селиверстова И.Г., Грибцова Л.С., Хлыстова В.Г., Шаленко А.Н.</i>	7
ИНДЕКСНЫЙ МЕТОД, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПАРАЗИТОЛОГИИ <i>Никонорова В.Г.</i>	12

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ МИКРОСОСУДИСТОЙ РЕАКТИВНОСТИ, МАРКЕРАМИ ЭНДОТЕЛИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ И ФИБРОЗА У ПАЦИЕНТОВ С ДОБРОКАЧЕСТВЕННОЙ ГИПЕРПЛАЗИЕЙ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ <i>Ляшенко В.В., Асфандияров Ф.Р., Полунина Е.А.</i>	17
РОЛЬ МАТРИЧНЫХ МЕТАЛЛОПРОТЕИНАЗ И МАРКЕРОВ АПОПТОЗА В ПАТОГЕНЕЗЕ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ДИСПЛАЗИИ У ДЕТЕЙ, РОЖДЕННЫХ С НИЗКОЙ МАССОЙ ТЕЛА <i>Мурсалова З.Ш.</i>	22
ОСОБЕННОСТИ РИСКА НЕОНАТАЛЬНЫХ СУДОРОГ У НЕДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ <i>Сафарова А.Г.</i>	27

ОБЗОРЫ

ПОИСК НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИИ И ПИЩЕВОЙ НЕПЕРЕНОСИМОСТИ У ДЕТЕЙ <i>Косякова Н.И., Андреева Л.А., Панкратова Е.В.</i>	32
ПОДГОТОВКА К ПРОГРАММАМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ЭНДОМЕТРИТЕ <i>Оздоева И.М.-Б., Петров Ю.А., Султыгова Л.А.</i>	37

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВЫХ СИСТЕМАХ <i>Денисенко А.А.</i>	42
РАЗРАБОТКА ГЛАВНОГО РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА (ГРМ) КРИВОШИПНОГО ПРЕССА <i>Джомартов А.А., Тулешов А.К.</i>	48

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

УПРАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОСАДКОЙ ВОЗВРАЩАЕМЫХ МОДУЛЕЙ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРЕДЛОЖЕННОГО АЛГОРИТМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ <i>Мозжорина Т.Ю., Осипов В.В.</i>	54
--	----

О ВИДОИЗМЕНЕНИЯХ ОПЫТА ФАРАДЕЯ С КАЖУЩИМСЯ УМЕНЬШЕНИЕМ
ВЕСА ПРОВОДНИКОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА
В АСПЕКТЕ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ГРАВИТАЦИИ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Ромм Я.Е. 61

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОХОДОВ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ГРУППАМИ
НАСЕЛЕНИЯ В РОССИИ ЗА 2019 ГОД

Кузина Н.В. 82

CONTENTS
BIOLOGICAL SCIENCES
ARTICLES

- INFLUENCE OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL SETTINGS ON THE MENTAL STATES
OF SECONDARY PROFESSIONAL EDUCATION STUDENTS UNDER STUDY CONDITIONS
Bystrushkin S.K., Seliverstova I.G., Gribtsova L.S., Khlystova V.G., Shalenko A.N. 7
- INDEX METHOD, STATISTICAL METHODS AND MATHEMATICAL
MODELS IN PARASITOLOGY
Nikonorova V.G. 12

MEDICAL SCIENCES
ARTICLES

- RELATIONSHIPS BETWEEN MICROVASCULAR REACTIVITY INDICATORS,
MARKERS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION AND FIBROSIS
IN PATIENTS WITH BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA
Lyashenko V.V., Asfandiarov F.R., Polunina E.A. 17
- THE ROLE OF MATRIX METALLOPROTEINASES AND MARKERS
OF APOPTOSIS IN THE PATHOGENESIS OF BRONCHOPULMONARY
DYSPLASIA IN CHILDREN BORN WITH LOW BODY WEIGHT
Mursalova Z.Sh. 22
- FEATURES OF RISQUÉ OF NEONATAL SEIZURES IN PREMATURE INFANTS
Safarova A.G. 27

REVIEWS

- SEARCH FOR NEW WAYS TO DIAGNOSE FOOD ALLERGIES
AND FOOD INTOLERANCE IN CHILDREN
Kosyakova N.I., Andreeva L.A., Pankratova E.V. 32
- PREPARATION FOR ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGY
PROGRAMS IN CHRONIC ENDOMETRITIS
Ozdoeva I.M-B., Petrov Yu.A., Sulygova L.A. 37

TECHNICAL SCIENCES
ARTICLES

- DEEP LEARNING FOR IMAGE CLASSIFICATION IN DIFFERENT COLOR SYSTEMS
Denisenko A.A. 42
- THE CHOICE OF THE STRUCTURE OF THE MAIN WORKING MECHANISM (MWM)
OF THE CRANK PRESS
Jomartov A.A., Tuleshov A.K. 48

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES
ARTICLES

- VERTICAL LANDING CONTROL OF RETURNED MODULES AND PROBABILITY
ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE PROPOSED FEEDBACK ALGORITHM
Mozzhorina T.Yu., Osipov V.V. 54

ABOUT THE CHANGES IN FARADAY'S EXPERIMENT WITH THE APPARENT
REDUCTION OF THE WEIGHT OF THE CONDUCTORS DURING THE PASSING
OF THE ELECTRIC CURRENT IN THE ASPECT OF A HYPOTHETICAL
CONNECTION OF GRAVITY AND ELECTROMAGNETISM

Romm Ya.E. 61

ECONOMICAL SCIENCES

ARTICLES

ESTIMATION OF INCOME DISTRIBUTION BETWEEN DIFFERENT
POPULATION GROUPS IN RUSSIA FOR 2019

Kuzina N.V. 82

СТАТЬИ

УДК 159.91.316.61

**ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
НА ПСИХИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ
СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
В УСЛОВИЯХ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

¹Быструшкин С.К., ¹Селиверстова И.Г., ¹Грибцова Л.С., ¹Хлыстова В.Г., ²Шаленко А.Н.

¹*Анапский филиал ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»,
Анапа, e-mail: bistrushkin@mail.ru, ig.seliverstova@mpgu.su, gribcova-luda@mail.ru,
nika.hlystova@yandex.ru;*

²*Анапский филиал ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет»,
Анапа, e-mail: mshalenko@mail.ru*

В статье представлены материалы исследования влияния социально-психологических установок на психическое состояние девушек, обучающихся по специальностям среднего профессионального образования. Изучение социально-психологических установок с позиции мотивационно-потребностной сферы личности позволяет в определенной мере решать проблему коррекции психических состояний обучающихся, что является наиболее важной задачей в сфере психолого-педагогической деятельности. В статье рассмотрены особенности формирования устойчивых психофункциональных состояний обучающихся в условиях учебной деятельности, где они приобретают социальный опыт, который выражается в формировании социально-психологических установок, способствующих эффективной адаптации человека к условиям жизнедеятельности. Показано, что социально-психологические установки в значительной степени определяют поведение человека в условиях социума, поскольку включают в себе основные моральные принципы ответственности личности общественным требованиям. Отмечено, что социально-психологические установки, ориентированные на общественно полезный результат труда и свободу, занимают у обучающихся преобладающее положение, что оказывает влияние на психическое состояние обучающихся, вызывая затруднения в психологической регуляции субъектом программы деятельности в условиях, объективно требующих ее перестройки. Показано, что рассогласование социально-психологических установок в сознании обучающихся влияет на их психическое состояние, вызывая эмоциональный дискомфорт, повышение уровня тревожности и затруднения в изменении субъектом программы деятельности в условиях обучения.

Ключевые слова: социально-психологические установки, психическое состояние, учебная деятельность, уровень тревожности, личность

**INFLUENCE OF SOCIO-PSYCHOLOGICAL SETTINGS
ON THE MENTAL STATES OF SECONDARY PROFESSIONAL
EDUCATION STUDENTS UNDER STUDY CONDITIONS**

¹Bystrushkin S.K., ¹Seliverstova I.G., ¹Gribtsova L.S., ¹Khlystova V.G., ²Shalenko A.N.

¹*Anapa branch of Moscow Pedagogical State University, Anapa, e-mail: bistrushkin@mail.ru,
ig.seliverstova@mpgu.su, gribcova-luda@mail.ru, nika.hlystova@yandex.ru;*

²*Anapa branch of Sochi State University, Anapa, e-mail: mshalenko@mail.ru*

The article presents the materials of the study of the influence of socio-psychological attitudes on the mental state of girls studying in the specialties of secondary vocational education. The study of socio-psychological attitudes from the standpoint of the motivational-need-sphere of the individual allows to a certain extent to solve the problem of correction of the mental states of students, which is the most important task in the field of psychological and pedagogical activity. The article discusses the features of the formation of stable psycho-functional states of students in the conditions of educational activity, where they acquire social experience, which is expressed in the formation of socio-psychological attitudes that contribute to the effective adaptation of a person to the conditions of life. It is shown that socio-psychological attitudes to a large extent determine human behavior in society, since they include the basic moral principles of a person's compliance with social requirements. It is noted that socio-psychological attitudes focused on the socially useful result of labor and freedom occupy a prevailing position among students, which affects the mental state of students, causing difficulties in the psychological regulation of the subject of the activity program in conditions that objectively require its restructuring. It is shown that the mismatch of socio-psychological attitudes in the minds of students affects their mental state, causing emotional discomfort, an increase in the level of anxiety and difficulties in changing the program of activities by the subject in the learning environment.

Keywords: socio-psychological attitudes, mental state, learning activity, level of anxiety, personality

Социально-психологические установки в значительной степени определяют поведение человека в условиях социума, поскольку включают в себе основные мо-

ральные принципы соответствия личности общественным требованиям. Изучение условий формирования социально-психологических установок личности в процессе

учебной деятельности и мотивационно-потребностной сферы обучающихся позволит эффективно решать задачи снижения уровня психоэмоционального напряжения, осуществлять коррекцию психических состояний агрессивности, ригидности и фрустрации, а также целенаправленно планировать воспитательную и профессиональную деятельность.

В процессе формирования социально-психологических установок большую роль играют возрастные психологические особенности психоэмоционального восприятия, специфика субъективной оценки социальных критериев взаимоотношений личности в социуме, альтруистические мотивации и отсутствие достаточного жизненного опыта.

В то же время для данного возраста присущи такие психологические проявления, как социальная активность, высокий уровень проявления эмоциональных реакций, а также оптимистичность мировосприятия, бескорыстное участие в общественной деятельности [1].

Изучение социально-психологических установок с позиции мотивационно-потребностной сферы личности позволяет в определенной мере решать проблему не только коррекции психических состояний обучающихся, но и оказывать целенаправленное воздействие на процесс формирования социально-психологических установок, что является наиболее важной задачей в сфере психолого-педагогической деятельности.

Исследования в данном направлении показывают, что условия обучения, профессиональная направленность учебного процесса, взаимоотношения в коллективе и др. обуславливают формирование определенных социально-психологических установок, которые в свою очередь могут послужить основанием изменения психических состояний личности [2].

В процессе учебной деятельности возникает необходимость сопоставления и критической оценки личностных и общественных мотивационно-потребностных ценностей, что в определенной мере может вызывать коррективные изменения в становлении социально-психологических установок личности. Принятие или отрицание социальных ценностей в процессе профессионального обучения является одним из значимых психологических механизмов самоопределения личности [3].

В настоящее время отмечается значительное увеличение различных форм психических нарушений и связанных с ними антисоциальных форм поведения у детей подросткового возраста. Одним из важных

компонентов подобного проявления является психофизиологическая составляющая, связанная с возрастными критическими периодами в жизни подростков, осуществляемая на фоне адаптации к новым условиям, связанным с профессиональным обучением, контролем за своим поведением, ответственностью за предъявляемые обществом требования. Поэтому особую актуальность приобретают меры по предупреждению и коррекции состояний, связанных с социально-психологической дезадаптацией. Несмотря на большое количество исследований в данном направлении, многие вопросы остаются неразрешенными [3–5].

В ходе учебной деятельности обучающиеся приобретают социальный опыт, который выражается в формировании социально-психологических установок, способствующих эффективной адаптации человека к условиям жизнедеятельности. При этом следует учитывать, что направленность социально-психологических установок во многом определяется конкретными условиями обучения и воспитания, которые не всегда соответствуют психическим и физическим качествам обучающихся.

Современные исследования влияния социально-психологических установок на психическое состояние обучающихся показывают, что применение разнообразных здоровьесберегающих технологий в образовательном процессе, введение новых учебных программ и др., способны в определенной мере решать проблемы роста числа психосоматических заболеваний обучающихся, снижать высокие показатели уровня тревожности, агрессивности, корректировать изменения в психоэмоциональной сфере и т.д. [6–9]. Соотношения психологических характеристик личности, эмоционально-мотивационной сферы и психофизиологических систем регуляции поведения в условиях учебной деятельности являются актуальной психолого-педагогической задачей.

В связи с вышесказанным изучение влияния социально-психологических установок на психическое состояние обучающихся среднего профессионального образования и их ценностных ориентаций как составляющей структуры их профессионального сознания приобретает особую актуальность.

Целью исследования являлось изучение влияния социально-психологических установок на психическое состояние девушек в условиях учебной деятельности.

Материалы и методы исследования

Для выявления влияния социально-психологических установок на психическое со-

стояние обучающихся были использованы следующие диагностические методики:

- методика диагностики социально-психологических установок личности О.Ф. Потемкиной;
- тест самооценки психических состояний Г. Айзенка [10];
- статистическая обработка данных.

В исследовании приняло участие 30 девушек в возрасте 15–16 лет, обучающихся по направлению среднего профессионального образования по специальности «Преподавание в начальных классах».

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ исследования социально-психологических установок обучающихся показал, что у девушек преобладает установка на результат труда, которая составляет 78 % и базируется на общественной, альтруистической мотивации действовать на пользу другим, часто в ущерб себе, что, на наш взгляд, является характерной чертой для данного возраста.

При этом установка на результат труда у девушек сочетается с ориентацией на свободу как выражение своей независимости и составляет 74 %, что также согласуется с исследованиями Черниковой Т.В. (2011) и др. [11; 12]. Смещение потребностно-мотивационной сферы молодежи в сторону удовлетворения материальных потребностей обусловлено такими социально-экономическими установками, как трудовая мотивация, социальная и профессиональная ориентация. В связи с этим возникает необходимость повышения престижности образования со стороны государства, которое регулирует процесс образования и формирует тем самым базовые черты личности.

Достаточно высокие показатели социально-психологических установок обучающихся были ориентированы на процесс деятельности и труд (51 %), что, вероятно, обусловлено активным поиском доступной и интересной предполагаемой работы, при которой одним из значимых факторов является результат труда, одобряемый руководством или обществом (рис. 1).

Вероятно, психологическая позиция стремления к идеалу, желание самоутвердиться, презрение к индивидуализму, эгоизму, стремление к самостоятельности в сочетании с недостатком личного жизненного опыта в этом возрасте определенным образом оказывают влияние на психическое состояние обучающихся.

Доминирующее положение в социально-психологических установках занимают установки, направленные на общественно полезный результат труда, который, по общепринятому мнению, должен обеспечить свободу и независимость в процессе предполагаемой деятельности. В творчески созидательном, профессиональном труде личность реализует свое высшее предназначение, выражает глубинный потенциал своей индивидуальной сущности в противоположность социально-психологическим установкам на жизнедеятельность человека в виде престижного потребительства.

Подобная формулировка оказывает определенное влияние на психическое состояние, вызывая затруднения в изменении субъектом программы деятельности в условиях, объективно требующих ее перестройки, о чем свидетельствует высокий процент показателя среднего уровня ригидности, который составляет у девушек 47 % (рис. 2).

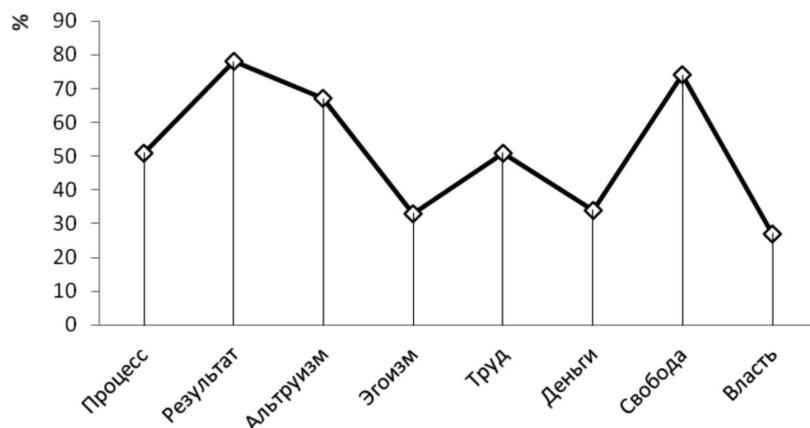


Рис. 1. Социально-психологические установки обучающихся

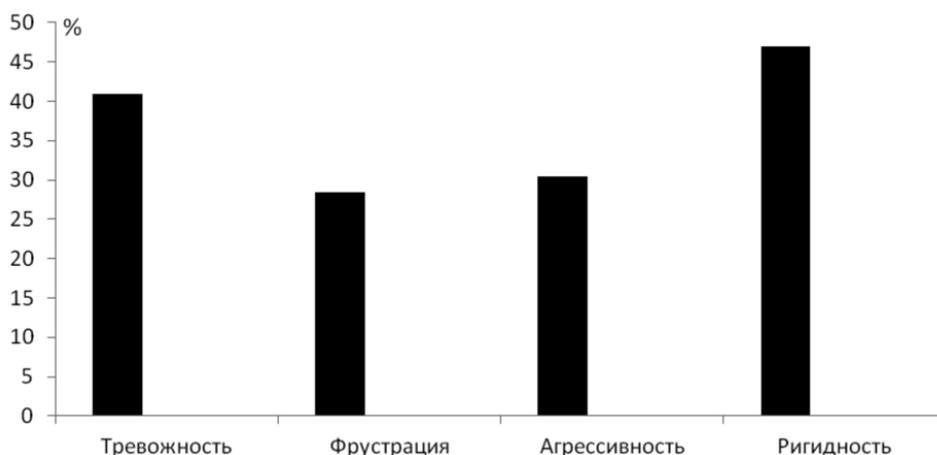


Рис. 2. Самооценки психических состояний обучающихся

Особый интерес вызывают низкие показатели социально-психологических установок девушек, ориентированных на эгоизм (33%), когда человек сосредоточен в основном на личных интересах, и деньги (34%) как условия благосостояния, а также власть (27%), предполагающую контроль и влияние на других. Видимо, в этом возрасте ориентация на подобные социально-психологические установки являются менее актуальными и приемлемыми для обучающихся (рис. 1).

Вероятно, подобное рассогласование социально-психологических установок в сознании оказывает специфическое влияние на психическое состояние личности обучающихся. Это рассогласование приводит к частым переживаниям, эмоциональному дискомфорту, оказывающему влияние на работоспособность и поведение личности, к ожиданию грозящей опасности, которая приводит к формированию различного рода психосоматических расстройств, вызывая повышение уровня тревожности, которое у девушек составляет 41%.

При этом наблюдался низкий уровень фрустрации (28,5%), для которой характерно проявление устойчивости к неудачам и трудностям. А также низкий уровень агрессивности (30,5%), что свойственно спокойному и выдержанному человеку. Подобное психическое состояние с устойчивым проявлением низкого уровня агрессивности и фрустрации может быть обусловлено психофизиологическими особенностями адаптации личности к динамичным условиям социума, поиском наиболее эффективных и адекватных для себя способов реализации поставленных целей и определения своей роли в общественной жизни.

Заключение

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют констатировать, что сформированные в процессе учебной деятельности социально-психологические установки мотивационно-потребностной сферы обучающихся оказывают определенное влияние на их психическое состояние, о чем свидетельствует повышение уровня тревожности и ригидности обучающихся. Одной из причин изменения психических состояний, вероятно, является психологическая рассогласованность в восприятии личности социально-психологических установок на мотивационно-потребностные ценности, что обуславливает функциональное напряжение психофизиологических механизмов адаптации.

При этом отмечаемый низкий уровень фрустрации и агрессивности можно рассматривать как одну из форм приспособления личности к психологическим стрессовым ситуациям, которая позволяет субъекту выработать необходимые подходы и приемы, посредством которых обеспечивается максимально благоприятное положение человека в социальной среде и реализуются поставленные им цели.

В процессе учебной деятельности появляется общность интересов, групповое самосознание, внимание к личному внутреннему миру, самоопределение. В этот период актуальны вопросы о смысле собственной жизни, о предназначении и роли человека в мире, хотя сформированный социальный статус обучающихся в результате учебной деятельности может препятствовать освоению новых социально-психологических установок и ценностных ориентаций мотивационно-потребностной сферы, вынуждая его к пассивному выжиданию.

Однако возрастные психологические особенности восприятия, специфика субъективной оценки социальных критериев взаимоотношений личности в социуме, альтруистические мотивации, характерные для подросткового возраста, и отсутствие достаточного жизненного опыта являются благоприятным фоном для формирования социально-психологических установок, способствующих эффективности профессиональной подготовки в условиях среднего профессионального обучения, основной задачей которого является подготовка к труду.

Список литературы

1. Кубякин Е.О. Социально-психологические и социально-возрастные особенности молодежи как фактор формирования ксенофобных и экстремических установок. Социально-гуманитарные знания. 2010. № 3. С. 166–172.
2. Улановская Л.С. Учебная среда как фактор, оказывающий влияние на проявление состояний агрессии и доминирующих психических состояний обучающихся // Научное мнение. 2012. № 10. С. 108–112.
3. Максимова Н.Л., Литвинова Е.М. Изменения социально-психологических установок личности в ходе обучения в вузе // Развитие экспортного потенциала высшего образования: содержание, опыт, перспективы: материалы XI Международной учебно-методической конференции. 2019. С. 254–258.
4. Защирина О.В., Красновский В.Н. Психические состояния и их роль в учебно-воспитательном процессе // Здоровье и образование: материалы XV региональной научно-практической конференции. 2018. С. 15–21.
5. Мензул Е.В. Психолого-педагогические условия объективизации оценки психических состояний школьников в учебной деятельности // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. № 29. С. 93–99.
6. Акимова О.В., Белякова А.В., Аранович И.Ю. Социально-психологические установки современных студентов // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5. № 5. С. 732.
7. Муллахметова Д.Р., Окунева И.В., Толмачёв Д.А. Оценка психического состояния студентов медицинских вузов Российской Федерации // Авиценна. 2018. № 27. С. 25–27.
8. Алимов А.А. Особенности содержания социально-психологических установок студентов, обучающихся в средних специальных и высших учебных заведениях // Инновации в науке. 2015. № 50. С. 52–55.
9. Мусина А.А., Сулейменова Р.К., Сакенова А.К. Значимость эмоционального стресса в развитии девиантных состояний // Инновационная наука. 2015. № 10–2. С. 210–230.
10. Психодиагностика персонала: методики и тесты: учебное пособие для факультетов: психологических, экономических и менеджмента: в 2 томах / Ред.-сост. Д.Я. Райгородский. Самара: Бахрах-М, 2007. 439 с.
11. Черникова Т.В. Социально-психологические установки и карьерные притязания студентов // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2011. № 4 (58). С. 132–135.
12. Киреева С.А., Гусева О.С., Дерунов А.В. Диагностика социально-психологических установок у студентов в мотивационно-потребностной сфере // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016. Т. 6. № 7. С. 1395.

ИНДЕКСНЫЙ МЕТОД, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПАРАЗИТОЛОГИИ

Никонорова В.Г.

*Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева,
Иваново, e-mail: bgnikon@gmail.com*

Паразитология – комплексная наука, сформировавшаяся на стыке биологии, экологии, медицины, ветеринарии и сельскохозяйственных наук. В её методологии превалирует индексный метод, который включает в себя экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии, индекс обилия, индекс Шеннона, индекс Бриллюэна, индексы Жаккара, индекс Сёрнсена, индекс сезонности. В работе раскрыта сущность указанных индексов, а также приведены данные о преимущественно биномиальном распределении первичных данных в паразитологии. Как следствие, показана необходимость использования непараметрических методов оценки достоверности различия двух выборок. Продемонстрирована значимая роль рядов динамики и способов их статистической оценки – корреляционного, регрессионного и кластерного анализов. Выделены экзогенные факторы, формирующие трендовую и периодическую составляющую в изменениях индексов паразитарных систем. Кратко освещены основные математические модели паразитарных систем. Продемонстрированы типовые недочеты при статистическом представлении результатов исследования, такие как использование амплитуды абсолютных значений вместо средних значений и стандартного отклонения изучаемых параметров, использование t-критерия Стьюдента без проверки соответствия распределения первичных нормальности. Продемонстрирована перспективность внедрения методов непараметрического и регрессионного анализа, для прогнозирования состояния паразитарных систем, как альтернатива широко распространенному качественному прогнозированию.

Ключевые слова: паразиты, прогноз, математическая модель, корреляция, методы

INDEX METHOD, STATISTICAL METHODS AND MATHEMATICAL MODELS IN PARASITOLOGY

Nikonorova V.G.

Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaev, Ivanovo, e-mail: bgnikon@gmail.com

Parasitology is a complex science formed at the intersection of biology, ecology, medicine, veterinary medicine and agricultural sciences. In her methodology, the index method prevails, which includes the extensiveness of the invasion, the intensity of the invasion, the abundance index, the Shannon index, the Brillouin index, Jaccard indexes, the Serens index, and the seasonality index. The paper reveals the essence of these indices, as well as provides data on the predominantly binomial distribution of primary data in parasitology. As a consequence, the necessity of using nonparametric methods for assessing the reliability of the difference between two samples is shown. The significant role of the series of dynamics and the methods of their statistical evaluation – correlation, regression and cluster analyzes – has been demonstrated. The exogenous factors that form the trend and periodic component in the changes in the indices of parasitic systems are identified. The main mathematical models of parasitic systems are briefly highlighted. Typical shortcomings in the statistical presentation of research results are demonstrated, such as the use of the amplitude of absolute values instead of the mean values and standard deviation of the studied parameters, the use of Student's t-test without checking the correspondence of the primary distribution to the normal. The prospects of introducing methods of nonparametric and regression analysis for predicting the state of parasitic systems as an alternative to widespread qualitative forecasting are demonstrated.

Keywords: blight, forecast, mathematical model, correlation, methods

Паразитология – комплексная наука, включающая в себя биологическую компоненту – исследующую фундаментальные закономерности паразитизма, медицинскую – описывающую взаимоотношения паразита и человека, ветеринарную – исследующую паразитов домашних и сельскохозяйственных животных, агрономическую, или фитопатологию – изучает паразитов растений, и экологическую компоненту – описывающую взаимодействия организмов паразитов между собой и с их средой обитания, включающей климатические и географические факторы. Это отразилось на методологии паразитологии, впитавшей в себя математические и статистические подходы,

характерные для вышеописанных дисциплин, и дополнившей её специфическими приемами. Однако в большинстве работ паразитология выступает в качестве прикладной дисциплины, в которой наибольшей популярностью пользуется индексный метод.

Экстенсивность инвазии ЭИ (Prevalence) – процент хозяев, зараженных одним паразитом или группой [1–3]:

$$\text{ЭИ} = N_p/n \times 100\% \quad (1)$$

Однако в том случае, когда в качестве зараженных хозяев выступают люди, принято использовать эпидемиологические показатели – количество случаев на 100 тысяч населения [4].

Интенсивность инвазии ИИ (Intensity) – среднеарифметический показатель числа паразитов, приходящихся на одну зараженную особь хозяина [3; 5]:

$$\text{ИИ} = \text{Par} / \text{Np}, \quad (2)$$

где Par – число выявленных паразитов у Np зараженных хозяев. Полученные результаты для удобства восприятия могут быть представлены в форме полуколичественных данных, + – слабая интенсивность инвазии; ++ – средняя; +++ – сильная интенсивность инвазии [5]. Достаточно часто вместо среднего значения представляют амплитуду ИИ [6], что значительно затрудняет оценку достоверности полученных результатов и сравнение данных, полученных в разных исследованиях.

Индекс обилия ИО (Abundance) – среднее значение количества особей выбранного одного или нескольких видов паразитов у всех особей хозяина, включая незараженных [1; 2]:

$$\text{ИО} = \text{Par} / n, \quad (3)$$

где Par – количество выявленных паразитов у n обследованных животных.

Отдельно стоит проблема оценки достоверности различия двух индексов. В классических работах предлагаются следующие формулы. Критерий достоверности разностей двух оценок ЭИ (Федоров, 1986):

$$t_{\text{dif}} = (P_1 - P_2) / \sqrt{(M_{p1}^2 + M_{p2}^2)}; \\ \text{MP} = \sqrt{(P(100 - P) / n)}, \quad (4)$$

где P₁, P₂ – сравниваемые ЭИ, %; M_{p1}, M_{p2} – их ошибки; n – число исследованных хозяев.

Критерий достоверности различия показателей ИО рассчитывается по формуле П.В. Терентьева и Н.С. Ростовской (1977):

$$t = (X_1 - X_2) / F; F = \sqrt{(S_1^2 (n - 1) + S_2^2 (n - 1) / (n_1 + n_2 - 2)) * \sqrt{(n_1 + n_2) / (n_1 n_2)}}, \quad (5)$$

где X₁, X₂ – сравниваемые показатели ИО; S₁², S₂² – их среднеквадратические отклонения; n₁, n₂ – размеры сравниваемых выборок (число исследованных хозяев). Полученные величины сравниваются с табличными, из таблицы распределения Стьюдента t (α, df) (обычно при уровне значимости α = 0,05) при числе степеней свободы (df = n – 2).

Однако представленные критерии неудобны для использования, поэтому в большинстве работ они отсутствуют [1; 5; 6]. По-видимому, это объясняется их громоздкостью и широким внедрением автоматизированных методов определения достоверности отличия двух выборок, реализованных в электронных таблицах Excel [1; 7], пакете

программ Statistica [1; 8] и др. Их место, как правило, заменяет t-критерий Стьюдента. Впрочем, его использование, также не всегда оправданно, поскольку требует проверки соответствия распределения изучаемой выборки нормальному. Однако существуют данные о том, что в большинстве случаев распределение гельминтов в популяции описывается биномиальным распределением или его предельным случаем распределением Пуассона–Борткевича. Это определяет необходимость использования непараметрических методов оценки достоверности различия двух выборок, таких как F-критерий Фишера [8] или критерий согласия Пирсона χ² [9].

Влияние биологической и экологической компоненты обусловило включение в методологию паразитологии следующих индексов: индекс Шеннона (H), индекс Бриллюэна (HВ), индексы Жаккара для качественных (СJa) и количественных данных (IJ) (индекс Серенсена) [1; 2; 10].

Индекс Шеннона представляет собой меру хаоса, энтропии. Последняя будет максимальной, когда все события (S) будут иметь одинаковую вероятность наступления (p_i = 1/S) (Лебедева и др., 1999):

$$H' = -\sum p_i \ln p_i, \quad (6)$$

где p_i – доля гельминтов i-го вида.

Причины ошибок в использовании этого индекса чаще всего исключаются в том, что авторы включают наблюдаемые или исследуемые виды, а не все их существующее в природе разнообразие. Таким образом, количество i в разных исследованиях может быть совершенно разным, а полученные результаты – несопоставимыми для разных исследований, или даже некорректными в случае искусственного исключения из рассмотрения какого-либо вида паразита. Особенностью этого индекса является то, что его распределение соответствует нормальному, что позволяет использовать методы параметрической статистики, дисперсионный анализ и t-критерий Стьюдента [11].

Индекс Бриллюэна (HВ) также используется для оценки качества экосистемы, однако при оценке одного и того же массива первичных данных он принимает более низкие значения, чем H. Это связано с тем, что в нем нет неопределенности, свойственной индексу Шеннона. В связи с этим HВ рекомендуется использовать при оценке коллекций.

$$\text{HВ} = (\ln N! - \sum \ln n_i!) / N, \quad (7)$$

где N – количество в сообществе особей всех видов; n_i – количество особей вида i; ! – знак факториала.

В паразитологии Н и НВ дополняют друг друга. Посредством Н характеризуют разнообразие компонентного паразитарного сообщества (паразитарное сообщество популяции хозяина), а НВ – разнообразие инфрасообщества (паразитарное сообщество у отдельной особи хозяина). Иногда встречается полуколичественный способ оценивания видового разнообразия, в баллах [12].

Близость видового состава паразитов и их обилия можно оценить с помощью индексов Жаккара для качественных (СJa) и количественных данных (Ij):

$$C Ja = j/(a + b + j), \quad (8)$$

где j – число общих видов на обоих участках; a – число видов на участке А; b – число видов на участке В (Мэгарран, 1992).

$$I_j(j, k) = \sum \min(n_{ij}, n_{ik}) / \sum \max(n_{ij}, n_{ik}), \quad (9)$$

где n_{ij} – количество i-го вида в сообществе j; n_{ik} – количество i-го вида в сообществе k. Полученные значения индексов Жаккара могут быть положены в основу кластерного анализа, для построения дендрограмм сходства, которые позволяют выявлять группы, близость параметров которых обусловлена общностью физиологических процессов [13].

Доминирование отдельных видов в сообществе гельминтов определяется с помощью индекса доминирования Ковнацки (D) [14]:

$$D_i = 100 \times p_i \times N_i / N_s, \quad (10)$$

где p_i – встречаемость; $p_i = m_i / M_i$, m_i – число проб, в которых был найден вид i гельминтов, M – общее число проб, N_i – число особей i-го вида гельминтов, N_s – общее число особей в биоценозе. Группы доминирования гельминтов: 100–10 – доминанты; 10–1 – субдоминанты; 1–0,001 – адоминанты.

Также встречаются такие индексы, как среднее число паразитов на 1 кг массы, количество живых и мертвых личинок, которое может быть выражено некачественно, в баллах [6].

Индекс сезонности позволяет дать количественную оценку сезонных колебаний и показывает, на сколько процентов изучаемое явление больше или меньше среднегодового уровня. Сезонный характер животноводческого производства, связь цикла развития паразитов с климатическими факторами настойчиво диктует необходимость работы с динамическими рядами данных. Существует достаточно большое количество способов рассчитать индексы сезонности, построенных на усреднении отклонений исходных уровней ряда динамики от каких-либо эталонных значений:

средней, медианы, теоретических значений тренда и т.д. Из всего многообразия можно выделить два способа расчета индекса сезонности I_s [15]. Первый ориентирован на ряды динамики, не имеющие тренда. Он построен на определении отклонений усредненных значений для каждой временной точки (квартала, месяца, недели) от средней величины.

$$I_s = y\bar{i} / y\bar{y} * 100\%, \quad (11)$$

где $y\bar{i}$ – среднее значение одноименных месяцев (кварталов); $y\bar{y}$ – среднее значение уровней ряда динамики.

Второй метод расчета индекса сезонности подходит для динамических рядов, содержащих в себе тенденцию, на фоне которой происходят отклонения. Он основан на расчете среднего значения из соотношений эмпирических и теоретических уровней ряда динамики:

$$I_s = \sum (Y_i / Y_{ti}) / n * 100\%, \quad (12)$$

где Y_i – эмпирические значения для каждой временной точки ряда; Y_{ti} – теоретические значения, полученные по уравнению тренда; n – количество временных точек.

Учитывая частое использование динамических рядов, большую пользу может принести определение коэффициента корреляции, который в работах чаще всего представлен коэффициентом корреляции Пирсона (r) [7; 16]. Ранговые коэффициенты корреляции применяются значительно реже [10], однако использование их предпочтительнее, поскольку они позволяют описывать взаимодействие не только количественных первичных данных, но и полуколичественных, баллов и индексов, часто применяемых в паразитологии. Очевидная трудность в интерпретации большого численного массива коэффициентов корреляции может быть успешно решена при помощи использования метода корреляционных плеяд [17].

Выявление тренда [10; 18] в рядах индексов или первичных данных является эффективным способом выявления общей тенденции, что особенно полезно при широком видовом составе гельминтов и их промежуточных хозяев. Однако это методика, являющаяся частным случаем регрессионного анализа, исследующего влияния одной или нескольких независимых переменных на зависимую переменную. Использование его методов позволяет не только сглаживать флуктуации исследуемых параметров, но и выявлять взаимосвязи между ними, характер этих связей, что в свою очередь позволяет математически прогнозировать состояние паразитарных систем в зави-

симости от внешних факторов, например температуры [19] или осадков [20]. Полный список экзогенных факторов, влияющих на прогноз состояния паразитарных систем, более широкий и включает в себя [21]:

1. Сведения о климате и орографии местности хозяйства, численности и технологии содержания животных, их возрастных группах, пастбищеобороте.

2. Характеристика пастбищ.

3. Диагноз гельминтоза, вид возбудителя, моно- или полиинвазия.

4. Эпизоотология – возникновение, течение, сезонная и возрастная динамики.

5. Биология промежуточных и дополнительных хозяев (моллюсков, почвенных клещей, муравьев и т.п.).

6. Метеорологические показатели в течение выпасного периода – осадки, температура, инсоляция.

Возможность прогнозирования состояния паразитарных систем оказалась настолько заманчивой, что обусловила ряд публикаций по прогнозу того или иного гельминтоза. К сожалению, большинство из этих прогнозов носят качественный характер, без привлечения математического или статистического аппарата, что, безусловно, снижает их ценность [22–24]. Гораздо привлекательнее выглядит полуквантитативный алгоритм, базирующийся на точных математических данных [25].

Специальных знаний требует использование разработанных для экологических исследований математических моделей систем уравнений, разработанных для экологических исследований, таких как модель МакКормика/Кендрика [26], модель Никольсона-Бейли [27] и другие [28].

К сожалению, в ряде паразитологических исследований результаты представлены только абсолютным количеством наблюдаемых случаев и их долей в 100% наблюдений [29–31]. Часто вместо средней и её ошибки используется диапазон – минимальные и максимальные значения параметра [3; 32], что снижает сопоставимость результатов, полученных разными авторами, так как требует учета распределения и объема исследуемой выборки.

Безусловно, полноценное использование метода индексов, статистического и математического аппарата позволит не только обогатить полученные результаты исследования, сделать их более релевантными, но и обеспечить сопоставимость результатов разных авторов.

Список литературы

1. Кириллова Н.Ю., Кириллов А.А. Влияние пола хозяина на структуру сообществ гельминтов воробьеобразных

(Passeriformes) птиц // Российский паразитологический журнал. 2017. Т. 42. Вып. 4. С. 345–353.

2. Куклин В.В. Бургомистр (*Larus hyperboreus* Gunnerus, 1767) Баренцева моря: обзор гельминтофауны и возможность использования в качестве индикатора паразитологической ситуации // Российский паразитологический журнал. 2017. Т. 41. Вып. 3. С. 226–235.

3. Василевич Ф.И., Каплич В.М., Якубовский М.В., Бахур О.В. Ассоциативные гельминтозы и протозоозы диких парнокопытных животных северной лесостепной подзоны Беларуси // Российский паразитологический журнал. 2017. Т. 41. Вып. 3. С. 246–248.

4. Марцев А.А., Рудакова В.М. Ретроспективный анализ эпидемиологической обстановки по паразитарным заболеваниям во Владимирской области // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 9. С. 825–830. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-825-830.

5. Биттиров А.М., Иттиев А.Б., Казанчев М.Х., Мирзоева Н.М., Курманова М.К. Биоразнообразие паразитарного комплекса рыб бассейна р. Терек // Известия вузов Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 1. С. 62–66.

6. Белькевич И.А. Зараженность мышечных тканей морской рыбы разных видов личинками цестоды *Nybelinia surmenicola* // Российский ветеринарный журнал. 2017. № 1. С. 14–16.

7. Лунева Н.А., Понамарев Н.М. Внутривидовые взаимоотношения гельминтов *Dirofilaria immitis* // Вестник алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 7(117). С. 103–106.

8. Ханбекова Е.Н., Рубцова Л.Е., Бабин Ю.Ю., Елаткин Л.П., Лаврухин Д.К., Третьяков А.В., Спрыгин А.В. Поражение медоносной пчелы *Apis mellifera caucasica* Gorb. вирусами и паразитами и состояние пчелиных семей в разных эколого-географических условиях большого Кавказа // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 6. С. 43–54.

9. Криштоп В.В., Румянцева Т.А., Пахрова О.А. Влияние состояния высшей нервной деятельности и пола на выживаемость при моделировании тотальной гипоксии головного мозга у крыс // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22431> (дата обращения: 23.07.2020).

10. Дугаров Ж.Н., Пронин Н.М. Динамика сообществ паразитов в возрастном ряду Байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) // Известия РАН. Серия Биологическая. 2013. № 5. С. 592–604.

11. Аниканова В.С., Бугмырин С.В., Иешко Е.П. Методы сбора и изучения гельминтов мелких млекопитающих: учебное пособие. Петрозаводск, 2017. 130 с.

12. Батжиев А.М. Состав, структура, показатели биоразнообразия и зоогеографические особенности териофауны Терского Кавказа в пределах Ингушетии и Чечни // История и философия естествознания. Рефлексия. 2015. № 3. С. 3–16.

13. Криштоп В.В. Кластерный анализ как метод комплексной оценки в сравнительной характеристике влияния статической и динамической нагрузки на сосудисто-паренхиматозные отношения в щитовидной железе // Успехи современного естествознания. 2005. № 4. С. 31–32.

14. Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах. Борок. 1987. Деп. в ВНИТИ 08.12.87. № 8593–В87. 64 с.

15. Дарда Е.С. Индексный метод в количественной оценке сезонных колебаний производства продукции животноводства // Статистика и вызовы современности: Всероссийская научно-практическая конференция. М., 2015. С. 128–132.

16. Ратынская И.А., Шлычков А.В., Егорова С.Ю., Калиничева С.А., Инина Е.А. Хронический описторхоз и хроническая обструктивная болезнь лёгких: клинико-патогенетические особенности ассоциированной патологии //

- Известия Челябинского научного центра. 2004. Вып. 2 (23). С. 193–197.
17. Криштоп В.В., Пахрова О.А. Применение кластерного и корреляционного анализа для оценки гемореологических показателей у больных эссенциальной артериальной гипертензией // Успехи современного естествознания. 2014. № 9–2. С. 11–16.
18. Бобырева Н.С., Корнеева Я.А., Дегтева Г.Н. Анализ заболеваемости паразитогами в Ненецком автономном округе // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 2. С. 157–162. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-2-157-162.
19. Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Устимов Д.В. Математическое моделирование изменения численности популяции злаковых тлей и её энтомофагов (паразитов и хищников) в разные периоды онтогенеза озимой пшеницы и погодноклиматических факторов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/article/view?id=11479> (дата обращения: 22.07.2020).
20. Пузанова Е.В. Прогноз эпизоотической ситуации по основным гельминтозам сельскохозяйственных животных в Российской Федерации на 2019 год // Российский паразитологический журнал. 2019. Т. 13. № 2. С. 28–35. DOI: 10.31016/1998-8435-2019-13-2-28-35.
21. Никитин В.Ф. О методах прогнозирования пастбищных гельминтозов // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2018. № 19. С. 341–342.
22. Колесников В.И., Сорокин В.В. Прогнозирование эпизоотий гельминтозов // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2010. Т. 3. № 1. С. 111–113.
23. Маклакова Л.П. Опыт разработки методов прогнозирования и профилактики гельминтозов диких копытных // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019. № 13. С. 233–235.
24. Горохов В.В., Самойловская Н.А., Пешков Р.А. Эпизоотической ситуации в Российской Федерации по новым гельминтозам на 2014 год // Российский паразитологический журнал. 2014. № 2. С. 32–33.
25. Гайрабекова Т.И., Гайрабеков Р.Х. Алгоритм прогнозирования фасциолезной инвазии // Успехи современной науки. 2016. № 9. Т. 12. С. 74–76.
26. Герасимов А.М. Математические модели-системы «паразит-хозяин»: автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Москва, 2009. 44 с.
27. Голубев А.В., Денисова Н.Б., Рубцов В.В. Модели паразит-хозяин для принятия решений о целесообразности биологической борьбы // Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник. 2013. № 3. С. 59–60.
28. Недорезов Л.В. Об оценке влияния качества корма и паразитизма на циклические колебания серой лиственничной листовёртки // Евразийский энтомологический журнал. 2007. Т. 6. № 2. С. 229–244.
29. Махамат Нгуерабе Ямтитина, Бан-Бо Бебанто Антипас, Макаров В.В. Заболеваемость крупного рогатого скота сибирской язвой в республике Чад // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2017. Т. 12. № 4. С. 368–373. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-368-373.
30. Синяков М.П., Стогначёва Г.А., Солейчук Н.Д. Особенности морфо-биологической характеристики оксиурисов, симптоматики и диагностики болезни // Животноводство и ветеринарная медицина. 2020. № 1. С. 40–44.
31. Терентьева З. Х., Пятачкова Е.П. Разнообразие паразитов животных при послеубойном осмотре // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2. С. 175–178.
32. Орлова И.И., Белоусова И.Н., Буренок А.С., Глазкова Е.В. Результаты мониторинга паразитарной ситуации на особо охраняемых природных территориях Центрального региона России (2014–2016 гг.) // Российский паразитологический журнал. 2017. № 2. С. 139–145.

СТАТЬИ

УДК 616.65-007.61:612.393

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ МИКРОСОСУДИСТОЙ РЕАКТИВНОСТИ, МАРКЕРАМИ ЭНДОТЕЛИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ И ФИБРОЗА У ПАЦИЕНТОВ С ДОБРОКАЧЕСТВЕННОЙ ГИПЕРПЛАЗИЕЙ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ¹Ляшенко В.В., ²Асфандияров Ф.Р., ²Полунина Е.А.¹ГБУЗ АО «Александро-Мариинская областная клиническая больница»,
Астрахань, e-mail: dr_vladimir_77@mail.ru;²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Астрахань, e-mail: agma@astranet.ru, Gilti2@yandex.ru

Цель исследования – изучить и проанализировать корреляционные связи между показателями микрососудистой реактивности, биохимическими маркерами эндотелиальной дисфункции и фиброза у пациентов с доброкачественной гиперплазией предстательной железы (ДГПЖ) (n = 35) и с ДГПЖ синдромом алкогольной зависимости (n = 37). Группу контроля составили 30 соматически здоровых добровольцев. Для статистической обработки использовалась программа «STATISTICA» версия 11.0. По результатам корреляционного анализа установлено взаимное влияние процессов эндотелиальной дисфункции и микрососудистой реактивности у всех обследуемых пациентов с ДГПЖ. Выявлено негативное влияние гиперпродукции интерстициального коллагена на реактивность микрососудов, темпы и продолжительность вазодилатации. Также выявлено, что активизация процессов распада интерстициального коллагена оказывает негативное влияние на способность микрососудов развивать и поддерживать вазодилатацию. При этом обращала на себя внимание большая сила выявленных взаимосвязей у пациентов с ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости по сравнению с пациентами с ДГПЖ, что указывало на более выраженное потенцирование эндотелиальной дисфункции и расстройств микрососудистой реактивности, и более выраженное негативное влияние фиброзообразования на реактивность микрососудов, темпы и продолжительность вазодилатации при хроническом воздействии алкоголя.

Ключевые слова: доброкачественная гиперплазия предстательной железы, синдром алкогольной зависимости, микрососудистая реактивность, эндотелиальная дисфункция, фиброз

RELATIONSHIPS BETWEEN MICROVASCULAR REACTIVITY INDICATORS, MARKERS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION AND FIBROSIS IN PATIENTS WITH BENIGN PROSTATIC HYPERPLASIA¹Lyashenko V.V., ²Asfandiarov F.R., ²Polunina E.A.¹State Medical Healthcare Alexandro-Mariinsky Regional Clinical Hospital,
Astrakhan, e-mail: dr_vladimir_77@mail.ru;²Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: agma@astranet.ru, Gilti2@yandex.ru

The aim of the study was to study and analyze correlations between microvascular reactivity, biochemical markers of endothelial dysfunction and of fibrosis in patients with benign prostatic hyperplasia (BPH) (n = 35) and BPH with alcohol dependence syndrome (n = 37). The control group consisted of 30 somatically healthy volunteers. For statistical processing, the program «STATISTICA» version 11.0 was used. According to the results of correlation analysis, the mutual influence of endothelial dysfunction and microvascular reactivity in all examined patients with BPH was established. The negative effect of interstitial collagen hyperproduction on microvessel reactivity, rates and duration of vasodilation was revealed. It was also found that activation of interstitial collagen breakdown processes has a negative impact on the ability of microvessels to develop and maintain vasodilation. At the same time, attention was drawn to the greater strength of the identified relationships in patients with BPH with alcohol dependence syndrome compared to patients with BPH, which indicated a more pronounced potentiation of endothelial dysfunction and microvascular reactivity disorders, and a more pronounced negative effect of fibroblast formation on microvascular reactivity, the rate and duration of vasodilation under chronic alcohol exposure.

Keywords: benign prostatic hyperplasia, alcohol dependence syndrome, microvascular reactivity, endothelial dysfunction, fibrosis

Доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) является одним из наиболее часто регистрируемых заболеваний в урологической практике, которое негативно влияет на качество жизни пациента и зачастую требует серьезных медицинских вмешательств [1]. По данным ряда исследований вклад в развитие и прогрессирование ДГПЖ, вносят: нарушения в со-

стоянии микроциркуляторного русла с развитием эндотелиальной дисфункции и фиброз в тканях ПЖ [2–4]. По результатам анализа литературы данные патологические процессы лежат в основе нарушения эректильной функции, развития симптомов нижних мочевых путей, усугубления первичной ишемии ткани простаты и др. клинических симптомов, сопровождающих ДГПЖ, что

еще раз подчеркивает перспективность их изучения [5–7]. Одним из дискутируемых факторов риска, влияющих на развитие и прогрессирование ДГПЖ, является злоупотребление алкоголем. Установлено, что злоупотребление алкоголем способствует замедлению скорости кровотока в капиллярах, образованию микротромбов и фиброзу мелких сосудов. Также злоупотребление алкоголем усиливает застойные явления в ПЖ, тем самым создавая предпосылки для развития воспалительного процесса, который является основой для фиброза и вызывает отечность слизистой оболочки уретры у пациентов с ДГПЖ [8–10].

Цель исследования: изучить и проанализировать корреляционные связи между показателями микрососудистой реактивности, биохимическими маркерами эндотелиальной дисфункции и фиброза у пациентов с ДГПЖ и с ДГПЖ синдромом алкогольной зависимости.

Материалы и методы исследования

Все обследуемые пациенты с ДГПЖ II стадии без показаний к операции ($n = 72$) были разделены на две группы: пациенты с ДГПЖ без синдрома алкогольной зависимости ($n = 35$) и пациенты с ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости ($n = 37$). Группу контроля составили 30 соматически здоровых добровольца мужского пола, сопоставимых по возрасту с обследуемыми пациентами ($p = 0,615$).

Медиана длительности ДГПЖ составила 6 [2; 11] лет. Медиана длительности систематического употребления алкоголя составила 8 [5; 13] лет. Длительные псевдозапой встречались у 20,7%, короткие псевдозапой – у 68,3%.

Критериями включения в исследование были: возраст 40–60 лет, верифицированный диагноз ДГЖП и синдромом алкогольной зависимости. Критериями исключения были: заболевания мочевого пузыря, прямой кишки, повышенный уровень антиспермальных антител в эякуляте, патологические процессы, наличие в анамнезе оперативных вмешательств по поводу крипторхизма, варикоцеле, паховой грыжи, гидроцеле, бесплодие.

Проведение клинического исследования было одобрено Независимым этическим комитетом ФГБОУ ВО «Астраханский ГМУ» Минздрава России (заседание РНЭК от 18.12.2017, протокол № 14).

Были изучены и проанализированы значения следующих показателей и биохимических маркеров: ● показатели микрососудистой реактивности – резерв капиллярного кровотока (КК) с прямым вазодилататором –

ацетилхолином (ПВ) и опосредованным вазодилататором – нитропруссидом натрия (ОВ), время развития максимальной вазодилатации (ВМВ) с ОВ, время восстановления кровотока (ВВК) с ОВ, уровень перфузии зондируемого участка кожи (ПМ), средне-квадратическое отклонение (СКО), коэффициент вариации (КВ), индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ). Методом лазерной доплеровской флоуметрии с помощью аппарата – лазерного анализатора микроциркуляции крови «ЛАКК-02» и дополнительного Блок «ЛАКК-ТЕСТ (Т)». ● биохимические маркеры эндотелиальной функции -N-концевой предшественник натрийуретического пептида С-типа (NT – proCNP), эндотелин-1 (ЭТ-1). Методом иммунохимического анализа в секрете ПЖ. ● биохимические маркеры фиброза – матриксная металлопротеиназа-1 (ММП-1), тканевой ингибитор металлопротеиназы-1 (ТИМП-1), трансформирующий фактор роста бета-1 (ТФР-β1). Методом иммунохимического анализа в секрете ПЖ.

Для статистической обработки данных была использована программа «STATISTICA» версия 11.0. Для проверки статистических гипотез использовали W-критерий Вилкоксона и U-критерий Манна – Уитни. Оценка интенсивности корреляционной связи проводилась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена. Критический уровень статистической значимости принимали равным 5% ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения корреляционного анализа на первом этапе мы изучили и проанализировали значение медианы всех изучаемых нами показателей.

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о нарушении микрососудистой реактивности, наличии эндотелиальной дисфункции и увеличении уровня маркеров фиброза в группах пациентов с ДГПЖ по сравнению с группой контроля, при этом большая выраженность данных процессов была в группе пациентов с ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости.

Далее нами была предпринята попытка проанализировать взаимосвязи между изучаемыми показателями у пациентов с ДГПЖ и с ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости. Как видно из табл. 2, в группе пациентов с ДГПЖ и ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости прослеживались отрицательные взаимосвязи средней силы между показателями ПМ, СКО, КВ, ИЭМ и биохимическими

маркерами эндотелиальной функции, отражающие роль дисфункции эндотелия, сопровождающейся гиперпродукцией вазоконстрикторов и компенсаторных вазодилататоров в развитии расстройств периферической микроциркуляции.

В обеих исследуемых группах прослеживались отрицательные взаимосвязи средней силы между показателями Резерв КК с ПВ, уровнем ЭТ-1 и NT – proCNP, отражающие ускорение реакции микрососудов на ацетилхолин при развитии эндотелиальной дисфункции. Кроме того были выявлены положительные взаимосвязи средней силы между уровнем маркеров эндотелиальной дисфункции и показателем ВМВ с ОВ, отражающие более медленное выделение собственных вазодилататоров и замедление реакции микрососудов на них с нарастанием эндотелиальной дисфункции как у пациентов с ДГПЖ, так и с ДГПЖ с синдромом

алкогольной зависимости. Между показателем ВВК с ОВ и маркерами эндотелиальной дисфункции в исследуемых группах, напротив, были выявлены отрицательные взаимосвязи средней и высокой силы, указывающие на уменьшение продолжительности выделения вазодилататоров и способности микрососудов поддерживать вазодилатацию с нарастанием эндотелиальной дисфункции и уровня ее маркеров как при ДГПЖ, так и при ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости. Также отрицательные зависимости средней силы и высокой силы прослеживались между уровнем маркеров эндотелиальной дисфункции и показателями Резерв КК с ОВ. Они указывали на уменьшение выраженности вазодилатации микрососудов при ионофорезе ОВ с нарастанием эндотелиальной дисфункции как при ДГПЖ, так и при ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости.

Таблица 1

Значение медианы показателей микрососудистой реактивности, маркеров эндотелиальной функции и фиброза

Показатель	Контроль	ДГПЖ	ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости
Резерв КК с ПВ, %	212,21	201,26 $p_1 = 0,056$	179,2 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge} = 0,011$
ВМВ с ОВ, с	131,93	158,21 $p_1 = 0,031$	174,98 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ВВК с ОВ, с	151,52	139,59 $p_1 = 0,012$	105,61 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
Резерв КК с ОВ, %	231,32	172,21 p_1^{\wedge}	133,01 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ПМ, прф. ед.	6,71	4,8 p_1^{\wedge}	3,1 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
СКО, прф. ед.	0,93	0,82 p_1^{\wedge}	0,61 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
КВ, %.	13,95	8,79 p_1^{\wedge}	4,2 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ИЭМ	2,08	1,02 p_1^{\wedge}	0,78 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ЭТ-1, пг/мл	3,2	6,5 p_1^{\wedge}	9,2 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
NT – proCNP, пмоль/л	6,1	10,5 p_1^{\wedge}	12,5 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ММП-1, нг/мл	3,9	5,7 $p_1 = 0,021$	9,6 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$
ТИМП-1, нг/мл	127	166 $p_1 = 0,012$	238 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge} = 0,025$
ТФР-1 β , нг/мл	5,7	11,5 p_1^{\wedge}	19,4 $p_1^{\wedge}; p_2^{\wedge}$

Примечание: p_1 – уровень статистической значимости различий с группой соматически здоровых лиц; p_2 – уровень статистической значимости различий с группой пациентов с ДГПЖ без синдрома алкогольной зависимости; $p^{\wedge} \leq 0,001$.

Интерес представляют выявленные ассоциации между показателями микрососудистой реактивности и маркерами фиброза обследуемых групп пациентов, отражающие негативное влияние гиперпродукции интерстициального коллагена (уровень ТФР-1 β , ТИМП-1) на процессы периферической микроциркуляции (табл. 3).

Активизация процессов распада интерстициального коллагена (уровень ММП-1) оказывает негативное влияние на микрососудистое русло, на что указывали выявленные отрицательные корреляции средней силы между уровнем ММП-1 и ПМ, СКО, КВ и ИЭМ. Были выявлены ассоциации между Резерв КК с ПВ, ВМВ с ОВ, ВВК с ОВ, Резерв КК с ОВ и маркерами

фиброза, как у пациентов с ДГПЖ, так и ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости, отражающие негативное влияние увеличением выработки ТФР-1 β , ТИМП-1, на реакцию микрососудов на ацетилхолин, темпы и продолжительность вазодилатации, вызванной нитропруссидом натрия. Увеличением уровня ММП-1 свидетельствует об активизации процессов распада интерстициального коллагена, также оказывает негативное влияние на способность микрососудов развиваться и поддерживать вазодилатацию, на что указывали выявленные отрицательные корреляции средней силы между уровнем ММП-1 и значением Резерв КК с ПВ, ВМВ с ОВ, ВВК с ОВ, Резерв КК с ОВ.

Таблица 2

Значения парной корреляции между показателями микрососудистой реактивности и маркерами эндотелиальной функции

Показатель	ДГПЖ		ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости	
	ЭТ-1, пг/мл	NT – proCNP, пмоль/л	ЭТ-1, пг/мл	NT – proCNP, пмоль/л
ПМ, прф. ед.	$r = -0,47; p^{\wedge}$	$r = -0,53; p^{\wedge}$	$r = -0,56; p^{\wedge}$	$r = -0,58; p^{\wedge}$
СКО, прф. ед.	$r = -0,4; p = 0,002$	$r = -0,47; p^{\wedge}$	$r = -0,54; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$
КВ, %.	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,59; p^{\wedge}$	$r = -0,65; p^{\wedge}$	$r = -0,62; p^{\wedge}$
ИЭМ	$r = -0,62; p^{\wedge}$	$r = -0,64; p^{\wedge}$	$r = -0,68; p^{\wedge}$	$r = -0,67; p^{\wedge}$
Резерв КК с ПВ, %	$r = -0,42; p = 0,002$	$r = -0,46; p^{\wedge}$	$r = -0,51; p^{\wedge}$	$r = -0,49; p^{\wedge}$
ВМВ с ОВ, с	$r = 0,45; p = 0,002$	$r = 0,49; p^{\wedge}$	$r = 0,59; p^{\wedge}$	$r = 0,6; p^{\wedge}$
ВВК с ОВ, с	$r = -0,51; p^{\wedge}$	$r = -0,54; p^{\wedge}$	$r = -0,7; p^{\wedge}$	$r = -0,71; p^{\wedge}$
Резерв КК с ОВ, %	$r = -0,61; p^{\wedge}$	$r = -0,65; p^{\wedge}$	$r = -0,72; p^{\wedge}$	$r = -0,75; p^{\wedge}$

Примечание. p – уровень статистической значимости коэффициентов корреляции; $p^{\wedge} \leq 0,001$.

Таблица 3

Значения парной корреляции между показателями микрососудистой реактивности и маркерами фиброза

Показатель	ДГПЖ			ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости		
	ММП-1, нг/мл	ТИМП-1, нг/мл	ТФР-1 β , нг/мл	ММП-1, нг/мл	ТИМП-1, нг/мл	ТФР-1 β , нг/мл
ПМ, прф. ед.	$r = -0,45; p^{\wedge}$	$r = -0,51; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,49; p^{\wedge}$	$r = -0,64; p^{\wedge}$	$r = -0,68; p^{\wedge}$
СКО, прф. ед.	$r = -0,41; p^{\wedge}$	$r = -0,49; p^{\wedge}$	$r = -0,51; p^{\wedge}$	$r = -0,47; p^{\wedge}$	$r = -0,58; p^{\wedge}$	$r = -0,66; p^{\wedge}$
КВ, %.	$r = -0,49; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,59; p^{\wedge}$	$r = -0,54; p^{\wedge}$	$r = -0,68; p^{\wedge}$	$r = -0,7; p^{\wedge}$
ИЭМ	$r = -0,53; p^{\wedge}$	$r = -0,58; p^{\wedge}$	$r = -0,61; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,7; p^{\wedge}$	$r = -0,74; p^{\wedge}$
Резерв КК с ПВ, %	$r = -0,29; p = 0,041$	$r = -0,31; p^{\wedge}$	$r = -0,45; p^{\wedge}$	$r = -0,37; p = 0,021$	$r = -0,53; p^{\wedge}$	$r = -0,54; p^{\wedge}$
ВМВ с ОВ, сек.	$r = 0,21; p = 0,045$	$r = 0,49; p^{\wedge}$	$r = 0,49; p^{\wedge}$	$r = 0,35; p = 0,034$	$r = 0,56; p^{\wedge}$	$r = 0,59; p^{\wedge}$
ВВК с ОВ, сек.	$r = -0,31; p = 0,034$	$r = -0,37; p = 0,031$	$r = -0,52; p^{\wedge}$	$r = -0,44; p = 0,002$	$r = -0,58; p^{\wedge}$	$r = -0,66; p^{\wedge}$
Резерв КК с ОВ, %	$r = -0,33; p = 0,037$	$r = -0,35; p = 0,034$	$r = -0,56; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,55; p^{\wedge}$	$r = -0,68; p^{\wedge}$

Примечание. p – уровень статистической значимости коэффициентов корреляции; $p^{\wedge} \leq 0,001$.

Таблица 4

Значения парной корреляции между маркерами эндотелиальной функции и фиброза

Показатели	ДГПЖ			ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости		
	ММП-1, нг/мл	ТИМП-1, нг/мл	ТФР-1β, нг/мл	ММП-1, нг/мл	ТИМП-1, нг/мл	ТФР-1β, нг/мл
ЭТ-1, пг/мл	r = 0,44; p = 0,002	r = 0,49; p [^]	r = 0,52; p [^]	r = 0,56; p < 0,002	r = 0,62; p [^]	r = 0,71; p [^]
NT – proCNP, пмоль/л	r = 0,42; p = 0,002	r = 0,5; p [^]	r = 0,57; p [^]	r = 0,53; p [^]	r = 0,61; p [^]	r = 0,69; p [^]

Примечание: p – уровень статистической значимости коэффициентов корреляции; p[^] ≤ 0,001.

Также установлено потенцирующее влияние активации фиброзообразования на выраженность эндотелиальной дисфункции у пациентов с ДГПЖ и ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости, на что указывали выявленные взаимосвязи между изучаемыми маркерами фиброза и уровнем ЭТ-1 и NT – proCNP.

Заключение

По результатам корреляционного анализа установлено взаимное влияние процессов эндотелиальной дисфункции и микрососудистой реактивности у всех обследуемых пациентов с ДГПЖ. Доказано негативное влияние гиперпродукции интерстициального коллагена (уровень ТИМП-1, ТФР-1β) на реактивность микрососудов, темпы и продолжительность вазодилатации. Также доказано, что активизация процессов распада интерстициального коллагена (увеличение уровня ММП-1) оказывает негативное влияние на способность микрососудов развивать и поддерживать вазодилатацию, на что указывали выявленные отрицательные корреляции между уровнем ММП-1 и значением Резерв КК с ПВ, ВМВ с ОВ, ВВК с ОВ, Резерв КК с ОВ. При этом обращала на себя внимание большая сила выявленных взаимосвязей у пациентов с ДГПЖ с синдромом алкогольной зависимости по сравнению с пациентами с ДГПЖ, что указывало на более выраженное потенцирование эндотелиальной дисфункции и расстройств микрососудистой реактивности, и более выраженное негативное влияние фиброзообразования на реактивность микрососудов, темпы и продолжительность вазодилатации при хроническом воздействии алкоголя.

Список литературы

1. Madersbacher S., Sampson N., Culig Z. Pathophysiology of Benign Prostatic Hyperplasia and Benign Prostatic Enlargement: A Mini-Review. *Gerontology*. 2019. V. 65. No. 5. P. 458–464.
2. Saito K., Hisasue S., Ide H., Aoki H., Muto S., Yamaguchi R., Tsujimura A., Horie S. The impact of increased bladder blood flow on storage symptoms after holmium laser enucleation of the prostate. *PLoS One*. 2015. V. 10. No. 6. e0129111.
3. Madersbacher S., Sampson N., Culig Z. Pathophysiology of Benign Prostatic Hyperplasia and Benign Prostatic Enlargement: A Mini-Review. *Gerontology*. 2019. V. 65. No. 5. P. 458–464.
4. Кирпатовский В.И., Баблюмян А.Ю., Мудрая И.С. Функциональная взаимосвязь и общность регуляции мочевого пузыря и предстательной железы // Экспериментальная и клиническая урология. 2015. № 3. С. 18–21.
5. Филимонов П.Н., Кульчавеня Е.В. Последствия избыточного формирования фиброза у больных хроническим простатитом // РМЖ. 2019. № 2. С. 39–41.
6. Berger A.P., Deibl M., Leonhartsberger N., Bektic J., Horninger W., Fritsche G., Steiner H., Pelzer A.E., Bartsch G., Frauscher F. Vascular damage as a risk factor for benign prostatic hyperplasia and erectile dysfunction. *BJU Int*. 2005. V. 96. No. 7. P. 1073–1078.
7. Садретдинов Р.А., Полуниин А.А., Асфандияров Ф.Р., Полунина О.С. Функциональные нарушения микроциркуляторного русла при хроническом неспецифическом бактериальном простатите // Естественные науки. 2015. № 2 (51). С. 64–68.
8. Кувакин В.И., Абдурахманов А.К., Резванцев М.В. Медико-социальные факторы риска развития доброкачественной гиперплазии предстательной железы // Вестник российской военно-медицинской академии. 2009. № 2 (26). С. 140–143.
9. Bradley C.S., Erickson B.A., Messersmith E.E., Pelletier-Cameron A., Lai H.H., Kreder K.J., Yang C.C., Merion R.M., Bavendam T.G., Kirkali Z. Evidence of the Impact of Diet, Fluid Intake, Caffeine, Alcohol and Tobacco on Lower Urinary Tract Symptoms: A Systematic Review. *The Journal of Urology*. 2017. V. 198. No. 5. P. 1010–1020.
10. Suh B., Shin D.W., Hwang S.S., Choi H.C., Kwon H., Cho B., Park J.H. Alcohol is longitudinally associated with lower urinary tract symptoms partially via high-density lipoprotein. *Alcohol. Clin. Exp. Res*. 2014. V. 38. No. 11. P. 2878–2883.

УДК 616.233/24-007.17-053.2

РОЛЬ МАТРИЧНЫХ МЕТАЛЛОПРОТЕИНАЗ И МАРКЕРОВ АПОПТОЗА В ПАТОГЕНЕЗЕ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ДИСПЛАЗИИ У ДЕТЕЙ, РОЖДЕННЫХ С НИЗКОЙ МАССОЙ ТЕЛА

Мурсалова З.Ш.

*Научно-исследовательский институт педиатрии имени К.Я. Фараджевой,
Баку, e-mail: zenamursalova@gmail.com*

Целью настоящего исследования явилось изучение роли матричных металлопротеиназ и факторов апоптоза в развитии бронхолегочной дисплазии (БЛД) у детей, рожденных с низкой массой тела. К обследованию привлечены 32 ребенка грудного возраста, с бронхолегочной патологией, рожденные с низкой массой тела при рождении. Всем обследованным новорожденным проведены клинические, инструментальные, общеклинические лабораторные обследования. Определение матричных металлопротеиназ (ММП-1, ММП-2, ММП-9, ММПТИ), маркеров апоптоза (цитохром-С и аннексин-V) выполнялось стандартным иммуноферментным анализом с использованием диагностических тест-систем производства «GeneTexMMPs». В ходе исследования было установлено, что как при классической, так и при новой форме бронхолегочной дисплазии уровни маркеров апоптоза (цитохром-С и аннексин-V) увеличиваются в зависимости от тяжести патологического процесса и носят однонаправленный характер. На фоне понижения уровня металлопротеиназ (ММП) возможно повышение концентраций ММП-2, ММП-9 и ММПТИ, приводящее к нарушению изомерного содержания компонентов экстрацеллюлярного матрикса, аккумуляции коллагена и других белков, развитию в легких фиброзной ткани. Таким образом, основываясь на полученных результатах, можно предположить, что нарушение баланса между маркерами апоптоза, металлопротеиназами и их ингибиторами у детей грудного возраста, рожденных с низкой массой тела, является важным механизмом при развитии БЛД.

Ключевые слова: бронхолегочная дисплазия, металлопротеиназы, маркеры апоптоза, дети, рожденные с низкой массой тела

THE ROLE OF MATRIX METALLOPROTEINASES AND MARKERS OF APOPTOSIS IN THE PATHOGENESIS OF BRONCHOPULMONARY DYSPLASIA IN CHILDREN BORN WITH LOW BODY WEIGHT

Mursalova Z.Sh.

*The Scientific Research Institute of Pediatrics named after K.Ya. Faradzheva,
Baku, e-mail: zenamursalova@gmail.com*

The purpose of this research was the study of the role of matrix metalloproteinases and apoptosis factors in the development of bronchopulmonary dysplasia (BLD) in children. 32 infants with bronchopulmonary pathology born with low birth weight were involved in the survey. All examined newborns underwent clinical, instrumental, general clinical laboratory examinations. Determination of matrix metalloproteinases (MMP-1, MMP-2, MMP-9, MMP-TI), markers of apoptosis (Cytochrom-C and Annexin-V) was performed by standard enzyme-linked immunosorbent assay using diagnostic test systems manufactured by Gene Tex MMPs. The study found that in both classical and new forms of bronchopulmonary dysplasia, levels of apoptosis markers (Cytochrom-C and Annexin-V) increase depending on the severity of the pathological process and are unidirectional. Against the background of lower levels of metalloproteinase (MMP), there may be increases in concentrations of MMP-2, MMP-9 and MMP-9, leading to a violation of the isomer content of components of extracellular matrix, accumulation of collagen and other proteins, development in the lungs of fibrous tissue. Thus, based on the results, it can be assumed that the imbalance between markers of apoptosis, metalloproteinases and their inhibitors in infants born with low body weight is an important mechanism in the development of BPD.

Keywords: bronchopulmonary dysplasia, metalloproteinases, markers of apoptosis, children born with low body weight

Несмотря на усовершенствование методов лечения с целью повышения выживаемости недоношенных детей, частота респираторных нарушений у них остаётся высокой. Острая дыхательная недостаточность у недоношенных детей, осложненная воспалительным процессом, при условии наличия неблагоприятных факторов риска, в дальнейшем переходит в хроническую стадию с развитием бронхолегочной дисплазии. Поэтому бронхолегочная дисплазия, являясь полиэтиологическим хроническим заболеванием легких, которое

формируется с периода новорожденности и является частой причиной летальности и заболеваемости у недоношенных детей, имеющих морфофункциональную незрелость легких [1–3]. Установлено, что при БЛД в легочной ткани, развивающийся заместительный фиброз в результате протеолиза, а также локальные эмфизематозные изменения обуславливают клиническое течение заболевания.

В последнее время большое значение имеет изучение состояния внеклеточного матрикса, который разрушается под дей-

ствием протеолитической активности ферментов. Ключевыми эффекторами тканевого ремоделирования являются матриксные металлопротеиназы (ММП) [4–6]. Матриксные металлопротеиназы (ММП) – семейство внеклеточных цинк-зависимых эндопептидаз, способных разрушать все типы белков внеклеточного матрикса, приводить к денатурации фибриального коллагена и развитию фиброза [7, 8].

В настоящее время уделяется большее внимание изучению редукции алвеоризации, наблюдающихся в протеолизе и легочной паренхиме при повреждении экстрацеллюлярного матрикса в патогенезе БЛД [9, 10]. Установлено, что во время БЛД происходит деградация компонентов экстрацеллюлярного матрикса, которые обладают протеолитической активностью при фибролизации легочной ткани и в этом процессе главную роль играют ММП и его тканевые ингибиторы, а также апоптоз [10, 11].

При БЛД особый интерес вызывает изучение процесса апоптоза и его параметров. Общеизвестно, что митохондриальный путь апоптоза характеризует трансмембранный потенциал, мембранозный путь – изменения плазматической мембраны. Происходящие в митохондриях метаболические изменения и структурные нарушения ассоциируются проапоптозными факторами, в том числе и релизингом цитохрома-С. Цитохром-С, являясь основным ферментом дыхательного звена митохондрий, представляет собой важнейший белок при реализации апоптоза митохондриальных путей. Аннексин-V (маркер мембранного пути апоптоза), соединяясь с фосфотидилсеринем, способствует нарушению асимметрии внутренних и внешних слоев плазматической мембраны. В клетке происходит распознавание апоптозной клетки благодаря средству к фосфотидилсерину [12–14].

Несмотря на то что, изучение БЛД у детей проводят на протяжении многих лет, информация о механизмах развития и формирования БЛД, вариантах и результатах течения у детей, рожденных с низкой массой тела, неточная. Также следует отметить, что в этой группе детей сроки и механизм развития легочного фиброза недостаточно освещены и поэтому исследования, проводимые в этом направлении, требуют дальнейшего изучения [15].

В работе была изучена роль матричных металлопротеиназ и маркеров апоптоза в патогенезе бронхолегочной дисплазии у детей, рожденных с низкой массой тела, находящихся на ИВЛ в неонатальный период с риском баротравмы, волюмотравмы, ателектотравмы легочной ткани.

Цель исследования: изучить роль матричных металлопротеиназ и факторов апоптоза в развитии бронхолегочной дисплазии у детей, рожденных с низкой массой тела.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в Научно-исследовательском институте педиатрии имени К.Я. Фараджевой. К обследованию привлечены 32 ребенка грудного возраста, с бронхолегочной патологией, рожденные с низкой массой тела при рождении. Дети неонатального, грудного возраста с клиническими диагнозами РДСН (респираторный дистресс-синдром), пневмония, транзиторное тахипноэ новорожденных, БЛД находились на лечении в отделениях реанимации и интенсивной терапии, патологии недоношенных новорожденных и пульмонологии. В ходе исследования дети были разделены на две группы. В первую группу вошли 24 ребенка с классической формой БЛД (получавшие сурфактант). Во вторую группу вошли 8 детей с БЛД в новой форме, рожденные с гестационным возрастом менее 32 недель. Все дети за исключением четырех в первой группе были недоношенными. В группу сравнения были включены 20 условно-здоровых детей с соответствующим гестационным возрастом и массой тела.

В ходе работы всем новорожденным проведены клинические, инструментальные, общеклинические лабораторные обследования. Определение матричных металлопротеиназ (коллагеназа, ММП-1, ММП-2, ММП-9, ММПТИ), маркеров апоптоза (цитохром-С и аннексин-V) выполнялось стандартным методом твердофазового («сэндвич»-вариант) иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием диагностических тест-систем производства «GeneTexMMPs» на анализаторе ElisysUnoHuman (Германия).

Статистическая обработка данных проводилась с помощью статистической программы 6.0. Параметрические показатели оценивались при помощи теста Стьюдента, непараметрические – методом Манна – Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно анамнестическим, клиническим, рентгенологическим признакам степень тяжести БЛД у обследованных детей была распределена следующим образом: у 62,5 % детей – тяжелая степень, у 37,5 % – среднетяжелая степень. У детей с тяжелой степенью БЛД в анамнезе получали СРАР и 30 % кислород или ис-

кусственную вентиляцию легких (ИВЛ), а в клинике имели ярко выраженные симптомы бронхиальной обструкции. На рентгенологической картине отмечалось повышение воздушности в легких и наблюдение сетчатой структуры.

Все новорожденные имели сочетанную патологию: гипоксически-ишемическая энцефалопатия 21 (65,6%), внутрижелудочковые кровоизлияния 10 (31,2%), перивентрикулярная лейкомаляция 4 (12,5%), гидроцефалия 3 (9,4%), апноэ 12 (37,5%), легочная гипертензия, открытый артериальный проток 11(34,3%), трахеобронхомаляция 4 (12,5%), гипотрофия 10 (31,2%), гипертензия легких 9 (28,1%), анемия 12 (37,5%), трахеобронхомаляция 7 (21,8%), врожденные пороки развития легких и гидроцефалия 5 (15,6%).

У детей с БЛД частые приступы апноэ и цианоза, возникающие вследствие обструкции и коллапса дыхательных путей, отмечались у детей с длительной интубацией и инфекцией. Острое течение заболевания клинически проявлялось совместно с выраженными тяжелыми бронхолитическими симптомами. Специфичный для БЛД «мозаичный» перкуторный шум выражался в легких в виде фиброза, ателектаза и других изменений.

Было установлено, что первый месяц клинического течения БЛД был волнообразным и зависел от интенсивности морфологических нарушений. У 75% больных наблюдалась нормализация после 6–12 месяцев, у 25% пациентов изменения продолжались. В первый год жизни ребенка по сравнению со вторым чаще встречались следующие состояния: стабильное тахипноэ, периодический стридор, повторная пневмония. Тяжелая форма БЛД характеризовалась хронической дыхательной недостаточностью (одышка, цианоз), они были близки бронхообструктивному синдрому с персистентным респираторным синдромом. Обострение заболевания наблюдалось в форме бронхита, бронхоолита, а также пневмонии.

Анализ частоты встречаемости респираторных проявлений БЛД показал, что если не было обострения, то одышка встречалась в 62,5% в первой группе и в 25,0% во второй группе. Обострение БЛД (эпизод бронхообструктивного синдрома) 75,0% в первой группе, 12,5% во второй группе. Хрипы, не относящиеся к обострению 25,0% в первой группе. Госпитализация детей, связанная с обострением отмечалась в 37,5% – в первой группе, 12,5% – во второй группе. Пневмония наблюдалась у 25,0% в первой группе. Хрипы, не связанные с обострени-

ем, и пневмония не наблюдались у детей во второй группе.

Клинические наблюдения показали, что с увеличением возраста ребенка признаки заболевания уменьшаются, это связано с постнатальным развитием легких и с ярко выраженным проявлением признаков современного клинически гетерогенного течения БЛД.

Таким образом, у грудных детей признаки БЛД характеризуются максимальной выраженностью клинических проявлений и признаками обострения заболевания.

У всех обследованных детей были изучены количество металлопротеиназы и их тканевых ингибиторов, уровень параметров апоптоза. Как видно из таблицы, уровень цитохрома-С превосходит в первой группе в 3,2 раза, во второй группе в 2,4 раза показатели контрольной группы. У обследованных новорожденных уровень аннексина-V был выше в среднем в 2 раза по сравнению с контрольной группой ($p < 0,01$). Установлено, что при классической, так и при новой форме БЛД уровни апоптозных маркеров (цитохром-С и аннексин В) изменяются в зависимости от тяжести патологического процесса и носят однонаправленный характер. Выявленные изменения, происходящие на уровне биологических маркеров, указывают на общий характер биохимических ауторегуляционных механизмов в программной смерти клетки. При БЛД повышение концентрации маркеров апоптоза подразумевает процесс модификации мертвых клеток, ускорение фагоцитоза, поэтому эти параметры можно рассматривать как фактор по выявлению степени апоптоза.

Результаты исследования показали, что на начальном этапе развития БЛД происходят значительные изменения в балансовой системе металлопротеиназ и их тканевых ингибиторов. У детей второй группы было выявлено низкое значение концентраций металлопротеиназы (ММП-1, ММП-9) по сравнению с детьми первой группы ($p < 0,01$). Это свидетельствует о снижении протеолитического процесса, несмотря на сурфактантную защиту легочной паренхимы у этих детей.

По-видимому, на фоне низких концентраций ММП-1 повышение уровня концентраций ММП-2, ММП-9 и ММПТИ, приводящее к нарушению изомерного содержания компонентов внеклеточного матрикса, аккумуляции коллагена и других белков, способствует развитию в легких фиброзной ткани. Структурные изменения во внеклеточном матриксе становятся причиной патологической ремоделизации в легких, что обуславливает функциональную недостаточность.

Уровень факторов апоптоза, ММП и их ингибиторов у детей, рожденных с низкой массой тела ($M \pm m$)

Показатели нг/мл	Группы			χ^2 ; p
	Контрольная группа n = 20	I группа n = 24	2 группа n = 8	
Цитохром-С	0,24 ± 0,03	0,78 ± 0,05*	0,58 ± 0,04*, ^^	$\chi^2 = 4,511$ p < 0,05 $\chi^2 = 10,29$ p < 0,01
Аннексин-V	4,10 ± 0,21	9,21 ± 0,46	8,62 ± 0,39*, ^^	$\chi^2 = 14,32$ p < 0,01 $\chi^2 = 5,314$ p ₁ < 0,05
ММП-1	3,16 ± 0,25	7,92 ± 0,51*	6,81 ± 0,26*, ^^	$\chi^2 = 14,32$ p < 0,01 $\chi^2 = 5,314$ p ₁ < 0,05
ММП-2	215,4 ± 10,9	452,1 ± 3,5*	416,1 ± 12,0*	$\chi^2 = 4,61$ p < 0,05
ММП-9	280,6 ± 20,6	702,9 ± 60,5*	330,5 ± 22,5^^	$\chi^2 = 6,412$ p ₁ < 0,05
ММПТИ	202,4 ± 18,0	366,4 ± 32,8*	242,0 ± 23,1*	$\chi^2 = 3,54$ p < 0,05

Примечание. Результаты представлены в виде $M \pm m$. M – среднее значение, m – стандартная ошибка, (min – max) – размах вариации: минимальные и максимальные значения ряда. Статистическая достоверность разницы:

- 1) показателями контрольной группы: * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001;
2) с показателями I и II группы: ^ – p₁ < 0,05; ^^ – p₁ < 0,01; ^^ ^ – p₁ < 0,001.

Таким образом, развитие БЛД возникает в результате ремоделизации в легочной ткани, а также сложного биохимического и структурного дисбаланса.

Согласно Р. Мартосу и авторам [8] повышение концентрации ММП-2 и ММП-9 создает условие для нарушения структуры внеклеточного матрикса и образованию фиброза. Полученные данные позволяют нам сделать вывод, что любое изменение концентрации матричных металлопротеиназ и их тканевых ингибиторов становится причиной нарушения стабильного баланса коллагенового синтеза и расщепления, что выражается в начальной стадии фиброзного процесса в межклеточном матриксе. Следует отметить, что фиброзный процесс – многофакторный и необратимый сложный процесс, поэтому требует всестороннего изучения.

Таким образом, основываясь на полученных результатах, можно предположить, что нарушение баланса между маркерами апоптоза, ММП и их ингибиторами у детей грудного возраста, рожденных с низкой массой тела, является важным механизмом при развитии БЛД. Поэтому для этого контингента больных целесообразно определять уровни легочных ингибиторов, мар-

керов апоптоза и структурных изменений легочной ткани.

Выводы

1. Как при классической, так и при новой форме БЛД уровни маркеров апоптоза (цитохром-С и аннексин-V) увеличиваются в зависимости от тяжести патологического процесса и носят однонаправленный характер. Дисбаланс биологических маркеров указывает на изменения биохимических ауторегуляционных механизмов.

2. На фоне понижения ММП возможно повышение концентраций ММП-2, ММП-9 и ММПТИ, приводящие к нарушению изомерного содержания компонентов экстрацеллюлярного матрикса, аккумуляции коллагена и других белков, развитию в легких фиброзной ткани.

Список литературы

1. Овсянников Д.Ю., Комлева Н.А., Оболадзе Т.Б., Маркарян О.В., Кузьменко Л.Г. Современные алгоритмы диагностики бронхолегочной дискинезии // Вопросы диагностики в педиатрии. 2011. Т. 3. № 1. С. 12–20.
2. Современные подходы к профилактике, диагностике и лечению бронхолегочной дисплазии. Руководство для практикующих врачей / Под ред. А.А. Баранова, Л.С. Назаровой-Барановой, И.В. Давыдовой. М.: Изд. «ПедиатрЪ», 2013. 33 с.

3. Mosca F., Colnaghi M., Fumagalli M. BPD: old and new problems. *J. Matern Fetal Neonatal Med.* 2011. № 24 (1). P. 80–82.
4. Rojas-Reyes M.X., Morley C.J., Soll R. Prophylactic versus selective use of surfactant in preventing morbidity and mortality in preterm infants. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2012. V. 14(3). CD000510.
5. John S. Bradley, Carrie L. Byington, Samir S. Shah et al. The management of community acquired pneumonia in infants and children older than 3 months of age: clinical practice guidelines by the Pediatric Infectious Diseases Society and Infectious Diseases Society of American. *Clin. Infect. Dis.* 2011. Oct 1. № 53 (7). P. 617–630. DOI: 10.1093/cid/cir625.
6. Мироманова Н.А. Изменения в системе «матриксные металлопротеазы – ингибитор матриксных металлопротеаз» при гриппе у детей // *Функциональные исследования.* 2014. № 10–2. С. 328–332.
7. Chen Q., Jin M., Yang F., Zhu J., Xiao Q., Zhang L. Matrix metalloproteinases: inflammatory regulators of cell behaviors in vascular formation and remodeling. *Mediators of Inflammation.* 2013. 14 p. DOI: 10.1155/2013/928315.
8. Аксененко М.Б., Рукша Т.Г. Оценка взаимосвязи ингибирования матриксной металлопротеазы-9 и содержания коллагеновых волокон в различных органах // *Сибирский медицинский журнал.* 2013. Т. 2. С. 6–8.
9. Choae Lee, Jaewoo An, Ji Hee Kim et al. Low levels of tissue inhibitor of metalloproteinase-2 at birth may be associated with subsequent development of bronchopulmonary dysplasia in preterm infants. *Korean Journal of Pediatrics.* 2015. № 58 (11). P. 415–420. DOI: 10.3345/kjp.2015.58.11.415.
10. Dufour A. Degradomics of matrix metalloproteinases in inflammatory diseases. *Front Biosci (Schol Ed).* 2015. № 7. P. 150–167.
11. Marchesi C., Dentali F., Nicolini E., Maresca A.M., Tayebjee M.H., Franz M., et al. Plasma levels of matrix metalloproteinases and their inhibitors in hypertension: a systematic review and meta-analysis. *J. Hypertens.* 2012. № 30. P. 3–16.
12. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампеисов Т.М. Современные представления о клеточной гибели // *Гены&Клетки.* 2018. Т. XIII. № 1. С. 6–14. DOI: 10.23868/201805001.
13. Friedman J.R., Nunnar J. Mitochondrial form and function. *Nature.* 2014. Vol. 505. P. 335–431.
14. Лютфалиева Г.Т. Участие аутоантител в процессах апоптотической регуляции иммунокомпетентных клеток // *Экология человека.* 2010. № 5. С. 24–29.
15. Lidys Rivera, Roopa Siddaiah, Christiana Oji-Mmuo, Gabriela R. Silveyra, Patricia Silveyra. Biomarkers for Bronchopulmonary Dysplasia in the Preterm Infant. *Front Pediatr.* 2016 Mar 31. № 4. P. 33. DOI: 10.3389/fped.2016.00033.

УДК 616.8-053.32

ОСОБЕННОСТИ РИСКА НЕОНАТАЛЬНЫХ СУДОРОГ У НЕДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ

Сафарова А.Г.

*Азербайджанский государственный институт усовершенствования врачей имени А. Алиева,
Республиканский лечебно-диагностический центр, Баку, e-mail: mirmmms@mail.ru*

Цель исследования: оценить роль недоношенности плода в формировании повышенного риска неонатальных судорог. Исследование проведено на базе РПЦ МЗ Азербайджанской Республики. Исследованы материалы за 2012–2017 гг., которые включают данные 24472 новорожденных (недоношенные 5855 и доношенные 18616). Всем детям с неонатальными судорогами была проведена электроэнцефалография и сонография головного мозга, при необходимости по показателям была также проведена компьютерная томография и магнитно-резонансная томография. Обязательная программа лабораторных анализов включала: определение уровня кальция, глюкозы, магния, натрия, креатинина, мочевины, общего билирубина в сыворотке крови. Полученные результаты. Общая частота распространенности неонатальных судорог составляла $2,98 \pm 0,35\%$. В группе недоношенных и доношенных детей частота неонатальных судорог (соответственно $5,29 \pm 0,94$ и $2,25 \pm 0,34\%$) существенно отличается ($P < 0,01$). При недоношенности у детей высок риск развития неонатальных судорог (относительный риск 2,35; атрибутивный риск 3,04%). В группе мальчиков и девочек частота неонатальных судорог (соответственно $3,34 \pm 0,50$ и $2,54 \pm 0,4\%$) разная, но их сравнение не опровергает справедливость нулевой гипотезы ($P > 0,05$). Сходное заключение прослеживается при сравнении уровня частоты среди мальчиков и девочек в группе недоношенных ($5,82 \pm 1,33$ и $4,63 \pm 1,33\%$) и доношенных ($2,55 \pm 0,49$ и $1,90 \pm 0,47\%$) новорожденных. Риск развития неонатальных судорог у недоношенных новорожденных больше, чем у доношенных (атрибутивный риск 3,04%), зависит от пола (3,27% у мальчиков, 2,73% у девочек), от массы тела (при массе тела < 1500 и < 2500 г 11,78% и 5,29%), от способа родоразрешения (3,14% при абдоминальных и 2,93% при вагинальных родах) и от состояния по шкале Аппгар ($3,26\%$ при < 7 баллов и $2,69\%$ при > 7 баллов).

Ключевые слова: недоношенный новорожденный, особенность риска, неонатальные судороги

FEATURES OF RISQUÉ OF NEONATAL SEIZURES IN PREMATURE INFANTS

Safarova A.G.

*Azerbaijan State Institute of Doctors Improvement named after A. Aliev,
Republican Medical and Diagnostic Center, Baku, e-mail: mirmmms@mail.ru*

The purpose of the study. To assess the role of prematurity in formation of high neonatal seizures risqué. The study was held on basis on the Republic Prenatal Center (RPC) of the Ministry of Health of the Azerbaijan Republic. Materials of 2012–2017 years, which cover 24472 newborns (preterm 5855 and full-term 18616), were studied. Electroencephalography and sonography of brain were performed to all infants with neonatal seizures, depending on necessity computed tomography and magnetic resonance imaging were also performed according to indicators. A mandatory laboratory test program included: determination of the level of calcium, glucose, magnesium, sodium, creatinine, urea, total bilirubin in the blood serum. General frequency of the prevalence of neonatal convulsions was $2,98 \pm 0,35\%$. In groups of premature and full-term newborns the frequencies of neonatal convulsions are significantly different (correspondingly $5,29 \pm 0,94$ & $2,25 \pm 0,34\%$) ($P < 0,01$). Premature newborns have high risk of development of neonatal convulsions (relative risk 2.35; attributive risk 3.04%). In groups of boys and girls, the frequencies of neonatal convulsions (3.34 ± 0.50 and $2.54 \pm 0.4\%$, respectively) are different, but their comparison does not refute the validity of the null hypothesis ($P > 0.05$). A similar conclusion is observed while comparing the frequency rate between groups of premature ($5,82 \pm 1,33$ & $4,63 \pm 1,33\%$) and full-term boys and girls. The risk of developing neonatal seizures in premature infants is greater than in full-term (attributive risk 3,04%), which depends on gender (3,27% of boys, 2,73% of girls), on body mass (body mass < 1500 & < 2500 gr., 11,78% and 5,29%), from the method of delivery (3,14% abdominal and 2,93% vaginal delivery) and from the Apgar state ($3,26\%$ at < 7 points and $2,69\%$ at > 7 points).

Keywords: premature newborn, risk feature, neonatal convulsion

Неонатальные судороги из-за непредсказуемых последствий давно привлекают внимание ученых-медиков и в настоящее время хорошо изучены механизмы их возникновения, известны перинатальные факторы рисков этих состояний [1–3]. Обращает на себя внимание неравномерность распространения неонатальных судорог среди новорожденных разных стран: 1,5–5% среди доношенных новорожденных, 5,5–130% среди новорожденных мас-

сой тела при рождении < 1500 г [4–6]. Это в первую очередь связано с разным уровнем распространенности факторов риска неонатальных судорог [7–9]. Особенно важное значение имеет межрегиональное различие распространенности недоношенности плода, качества родовспомогательной помощи и уровня перинатальных потерь [10, 11]. Современные возможности диагностики неонатальных судорог также влияют на выявляемость неонатальных судорог [12–13].

Цель исследования: оценить роль недоношенности плода в формировании повышенного риска неонатальных судорог.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на базе Республиканского перинатального центра (РПЦ) Министерства здравоохранения Азербайджанской Республики. Исследованы материалы за 2012–2017 гг., которые включают данные 24472 новорожденных (недоношенные 5855 и доношенные 18616). Критерием недоношенности является масса тела менее 2500 г при гестационном возрасте 37 недель и менее. За это время неонатологи наблюдали неонатальные судороги у 73 новорожденных, которые были переведены для обследования и лечения в НИИ Педиатрии имени К. Фараджевой МЗ Азербайджанской Республики. Подробная информация обо всех новорожденных была собрана на основе изучения первичных учетных документов женских консультаций и РПЦ. Всем детям с неонатальными судорогами была проведена электроэнцефалография и сонография головного мозга, при необходимости по показателям была также проведена компьютерная томография и магнитно-резонансная томография. Обязательная программа лабораторных анализов включала: определение уровня кальция, глюкозы, магния, натрия, креатинина, мочевины, общего билирубина в сыворотке крови. В крови уровень $< 1,75$ ммоль/л для кальция, $< 2,6$ ммоль/л для глюкозы, < 134 ммоль/л для натрия, $< 3,0$ ммоль/л для калия считается соответствующим гипокальциемией, гипогликемией, гипонатриемией и гипокалиемией. Диагноз асфиксии ставили в случаях, когда оценка по шкале Апгар была ≤ 3 баллов через 5 минут после рождения. Диагноз неонатальной инфекции был установлен на основе клинического наблюдения и посева крови и мочи. Статистический анализ проводился с использованием пакета «анализ данных» программы Excel методами описательной статистики. Межгрупповое различие частоты распространенности неонатальных судорог оценивалось критерием χ^2 [14].

Результаты исследования и их обсуждение

Характеристика недоношенных и доношенных новорожденных с неонатальными судорогами показана в табл. 1. Половой состав недоношенных и доношенных новорожденных одинаков, в обеих группах преобладают мальчики (62,3 и 61,9%). Сравнимые группы существенно отличаются друг от друга по структуре ро-

доразрешения. В группе недоношенных детей преобладают те, которые родились путем абдоминального родоразрешения (соответственно 51,6 и 23,8%) и преимущественно выполненные дежурными врачами (29,0 и 4,8%). Доля новорожденных, родившихся вагинальным путем с применением оперативного вмешательства, составляла 22,6% в группе недоношенных и 7,1% в группе доношенных новорожденных с неонатальными судорогами. В обеих группах новорожденных судороги в основном были зарегистрированы в первые сутки после рождения (83,9 и 76,2%). Недоношенные новорожденные с неонатальными судорогами часто нуждались в реанимации (80,6%). В группе доношенных новорожденных с неонатальными судорогами эта величина составляла 23,8%.

Этиологическая структура неонатальных судорог в группах недоношенных и доношенных новорожденных была в основном сходная. В обеих группах преобладала доля гипоксии и асфиксии (25,8 и 33,3%) и метаболических нарушений (32,4 и 28,6%) и смешанных форм (25,8 и 16,7%).

Сравнимые группы новорожденных друг от друга существенно отличались по градациям шкалы Апгар, среди недоношенных детей у 67,7% состояние оценивалось менее 5 баллов по шкале Апгар, среди доношенных детей таких случаев не было. Состояние по шкале Апгар, оцененное как < 7 баллов, более чем в 3 раза чаще встречалось среди недоношенных детей (71,0%) по сравнению с доношенными (23,8%). В неонатальном периоде среди недоношенных детей с неонатальными судорогами летальность была у четырех новорожденных (12,9%). В группе доношенных новорожденных с неонатальными судорогами летальность не наблюдалась.

Общая частота распространенности неонатальных судорог составляла $2,98 \pm 0,35\%$ (95% доверительный интервал $2,28-3,68\%$). В группе недоношенных и доношенных детей частота неонатальных судорог (соответственно $5,29 \pm 0,94$ и $2,25 \pm 0,34\%$) друг от друга существенно отличается ($P < 0,01$). При недоношенности у детей высок риск развития неонатальных судорог (относительный риск 2,35; атрибутивный риск 3,04%). В группе мальчиков и девочек частота неонатальных судорог (соответственно $3,34 \pm 0,50$ и $2,54 \pm 0,4\%$) разная, но их сравнение не опровергает справедливость нулевой гипотезы ($P > 0,05$). Сходное заключение прослеживается при сравнении уровня частоты среди мальчиков и девочек в группе недоношенных ($5,82 \pm 1,33$ и $4,63 \pm 1,33\%$) и доношенных

($2,55 \pm 0,49$ и $1,90 \pm 0,47\%$) новорожденных. Относительный риск неонатальных судорог среди недоношенных мальчиков (по сравнению с доношенными мальчиками) и девочек (по сравнению с доношенными девочками) составляет 2,28 и 2,44. Соответственный атрибутивный риск (3,27 и 2,73%) также отличается.

Среди недоношенных новорожденных 26,1% имели массу тела < 1500 г. В этой подгруппе новорожденных частота неонатальных судорог была максимальной и составляла $11,78 \pm 2,76\%$ (95% доверительный интервал 6,26–17,3%). С увеличением массы тела в группе недоношенных новорожденных (табл. 2) наблюдается заметное снижение частоты неонатальных судорог, которая составляла $3,54 \pm 1,44\%$ (95% доверительный интервал 0,66–6,42%) при массе тела новорожденных 1500–1999 г, $2,66 \pm 1,0\%$ (95% доверительный интервал 0,66 – 4,66%) при массе тела новорожденных 2000–2499 г.

При массе тела 2500–4000 г частота неонатальных судорог составляла

$2,0 \pm 0,34\%$ (95% доверительный интервал 1,32–2,68%). Дальнейший рост массы тела (4000 г и более) новорожденных ассоциируется ростом частоты неонатальных судорог ($4,09 \pm 1,54\%$; 95% доверительный интервал 1,01–7,17%). В целом в группах доношенных и недоношенных новорожденных частота неонатальных судорог ($2,25 \pm 0,34$ и $5,29 \pm 0,94\%$) друг от друга отличается существенно.

При вагинальных и абдоминальных родах у новорожденных риск развития неонатальных судорог разный, соответственно у $2,9 \pm 0,4$ и $3,1 \pm 0,7\%$ новорожденных отмечается эта патология. Особенно высок риск, когда ребенок рождается абдоминальным путем ночью ($5,0 \pm 1,6\%$).

У недоношенных и доношенных новорожденных, родившихся вагинальным путем, частота неонатальных судорог составляла $4,68 \pm 1,20$ и $2,11 \pm 0,37\%$. Между этими показателями различие существенное ($P < 0,05$). Недоношенность ассоциируется с повышенным риском (относительный риск 2,2 и атрибутивный риск 2,57%).

Таблица 1

Характеристика недоношенных и доношенных новорожденных с неонатальными судорогами. • $P < 0,05$; $\chi^2 \geq 3,8$

Признаки	Варианты признаков	Недоношенные (31)		Доношенные (42)	
		n	%	n	%
Пол	Мальчики	19	61,3	26	61,9
	Девочки	12	38,7	16	38,1
Родоразрешение	Вагинальное	15	48,4	32	76,2•
	В том числе вагинальное оперативное	7	22,6	3	7,1•
	Абдоминальное	16	51,6	10	23,8•
	В том числе абдоминальное ночью	9	29,0	2	4,8•
Время возникновения судорог (дни после рождения)	1	26	83,9	32	76,2
	2–3	4	12,9	8	19,0
	4 и более	1	3,2	2	4,8
Реанимация	Да	25	80,6	10	23,8•
	Нет	6	19,4	32	76,2
Этиологические факторы	Гипоксия и асфиксия	8	25,8	14	33,3
	Метаболические нарушения	10	32,3	12	28,6
	Инфекция	4	12,9	6	14,3
	Внутричерепная геморрагия	1	3,2	3	7,1
	Смешанное	8	25,8	7	16,7
Состояние по шкале Апгар через 5 минут после рождения, баллы	< 5	21	67,7	-	
	< 7	22	71,0	10	23,8•
	≥ 7	9	29,0	32	76,2•
Порядковый номер рождения	Первый	101	45,2	22	52,4
	Второй и более	17	54,8	19	47,6
Неонатальные потери	Да	4	12,9	0	–
	Нет	27	87,1	42	100,0•

Таблица 2

Частота распространенности неонатальных судорог среди недоношенных и доношенных новорожденных

Признаки	Градация признаков	Недоношенные (5856)			Доношенные (18616)		
		N	n	‰	N	n	‰
Пол	Мальчики	3265	19	5,82 ± 1,33•	10195	26	2,55 ± 0,49
	Девочки	2591	12	4,63 ± 1,33•	8421	16	1,90 ± 0,47
	Все	5856	31	5,29 ± 0,94•	18616	42	2,25 ± 0,34
Масса тела, грамм	<1500	1528	18	11,78 ± 2,76	–	–	–
	1500 – 1999	1697	6	3,54 ± 1,44	–	–	–
	2000 – 2499	2631	7	2,66 ± 1,0	–	–	–
	< 2500	5856	31	5,29 ± 0,94	–	–	–
	2500 – 4000	–	–	–	16908	35	2,07 ± 0,34
	4000 и более	–	–	–	1708	7	4,09 ± 1,54
Родоразрешение	Вагинальное (все)	3207	15	4,68 ± 1,20•	15165	32	2,11 ± 0,37
	Абдоминальное (все)	2649	16	6,04 ± 1,51•	3451	10	2,90 ± 0,91
	В том числе, вагинальное оперативное	1143	6	5,25 ± 2,13	1722	4	2,32 ± 1,16
	Абдоминальное ночью	800	5	6,25 ± 2,33	1191	2	1,68 ± 1,18
Состояние по шкале Апгар (баллы)	< 5	2625	18	6,86 ± 1,61	850	3	3,52 ± 2,03
	< 7	3420	19	5,56 ± 1,27•	5655	13	2,30 ± 0,63
	≥ 7	2436	12	4,92 ± 1,41	12961	29	2,23 ± 0,41

Различие ещё больше выражено при сравнении частоты неонатальных судорог у недоношенных (6,04 ± 1,51‰) и доношенных (2,90 ± 0,91‰) новорожденных, родившихся абдоминальным путем. При этом у недоношенных повышенный относительный риск составляет 2,08, а атрибутивный риск 3,14‰. При абдоминальных ночных родах у недоношенных и доношенных новорожденных частота неонатальных судорог также друг от друга существенно отличалась (6,25 ± 2,33‰ и 1,68 ± 1,18‰), размер относительного и атрибутивного риска составляет соответственно 3,72 и 4,57‰.

В сравниваемых группах в зависимости от состояния по шкале Апгар также изменилась вероятность развития неонатальных судорог, частота которой составляла при величине оценки по шкале Апгар < 5 баллов 6,86 ± 1,61‰ (95% доверительный интервал 3,64 – 10,08‰) в группе недоношенных, 3,52 ± 2,03‰ (95% доверительный интервал 0–7,58‰) в группе доношенных новорожденных. Размеры относительного и атрибутивного риска соответственно составляли 1,95 и 3,34‰. Межгрупповое различие было существенное при величине показателя шкалы Апгар < 7 балла (5,56 ± 1,29‰ в группе недоношенных и 2,30 ± 0,63‰ в группе доношенных новорожденных).

Таким образом, на фоне разной клинико-демографической характеристики недоношенных и доношенных новорожденных

существенно меняется риск развития неонатальных судорог.

Общий уровень распространенности неонатальных судорог среди новорожденных по нашим данным (2,98 ± 0,35‰; 95% доверительный интервал 2,28–3,68‰) по сравнению с литературными [2, 4, 5] данными (1,1 – 8,6‰) невысок. По величине этого показателя изученная нами популяция (новорожденные в перинатальном центре) занимает промежуточное место среди других популяций. У недоношенных новорожденных, по сравнению с доношенными, более чем в 2 раза выше частота распространенности неонатальных судорог (5,29 ± 0,9 и 2,25 ± 0,34‰). В зависимости от массы тела новорожденных изменения частоты неонатальных судорог (11,78 ± 2,76‰ при массе тела <1500 г и 2,07 ± 0,34‰ при массе тела 2500–4000 грамм) существенное, но интервал между максимальной и минимальной величиной узкий, чем описанной в литературе (4,4–55‰). Очевидно, что по вышеприведенным характеристикам эпидемиологии неонатальных судорог наблюдаемая нами популяция также сохраняет промежуточное положение среди других популяций.

Недоношенность новорожденных является риском для развития неонатальных судорог [1, 2, 12]. При этом, как показывают наши данные, клинико-эпидемиологическая характеристика неонатальных судорог у не-

доношенных и доношенных новорожденных имеет целый ряд отличительных особенностей. Во-первых, недоношенные новорожденные с неонатальными судорогами по сравнению с доношенными чаще рождаются абдоминальным путем (51,6 и 23,8%), особенно в ночное время, когда роды принимает дежурный персонал (29,0 и 4,8%). Недоношенным детям с неонатальными судорогами чаще проводятся реанимационные мероприятия (80,6 и 23,8%), у них часто состояние по шкале Апгар оценивается менее чем 7 баллами (71,0 и 23,8%). Эти обстоятельства также могут усугублять течение неонатальных судорог у недоношенных новорожденных.

Выводы

Риск развития неонатальных судорог у недоношенных новорожденных больше, чем у доношенных (атрибутивный риск 3,04%), зависит от пола (3,27% у мальчиков, 2,73% у девочек), от массы тела (при массе тела <1500 и <2500 грамм 11,78% и 5,29%), от способа родоразрешения (3,14% при абдоминальных и 2,93% при вагинальных родах) и от состояния по шкале Апгар (3,26% при < 7 баллов и 2,69% при >7 баллов).

Список литературы

1. Заваденко А.Н., Дегтярова М.Г., Заваденко Н.Н., Медведев М.И. Неонатальные судороги: особенности клинической диагностики // *Детская больница*. 2013. № 3. С. 41–48.
2. Queensland clinical Guidelines. Neonatal seizures. May. 2017. 32 p.

3. Kang S.K., Kadam S.D. Neonatal seizures: impact on neurodevelopmental out-comes. *Frontiers in Pediatrics*. 2015. V. 3. Article 101. P. 1–9.
4. Mwaniki M., Mathenge A., Gwer S. et al. Neonatal seizures in a rural Kenyan District hospital: etiology, incidence and outcome of hospitalization. *BMC Medicine*. 2010. V. 8. P. 16. DOI: 10.1186/1741-7015-8-16.
5. Bateman B.T., Huybrechts K.F., Maeda A. et al. Calcium channel blocker exposure in late pregnancy and the risk neonatal seizures. *Obstet. Gynecol.* 2015. V. 126(2). P. 271–278. DOI: 10.1097/AOG.0000000000000908.
6. Мырзалиева Б.Д. Неонатальные судороги. Этиологические аспекты и вопросы терапии // *Вестник АГИУВ*. 2011. № 51. С. 24–25.
7. Adebami O.J. Pattern of neonatal seizures in Oshogbo, South-Western Nigeria. *SA Journal of child health*. 2010. V. 4. № 2. P. 46–49.
8. Aziz A., Gatoo J., Aziz M., Rasool C. Clinical and etiological profile of neonatal seizures: a tertiary care hospital based study. *International Journal of research in Medical Sciences*. 2015. V. 3 (9). P. 2198–2203.
9. Eghbalian F., Monsef A., Taghdiri M. Neonatal seizures: etiology and frequency. *Iran J. Child. Neurology*. 2008. V. 2. № 2. P. 39–42. DOI: 10.22037/ijcn.v2i2.462.
10. Скромец М.В., Шумилина М.В., Гараева В.Р., Горелик Ю.В., Мостовой А.В., Любименко В.А., Шабалов Н.П., Каган А.В. Новые возможности терапии детей, родившихся в состоянии асфиксии и предикторы их неврологического исхода // *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. 2012. Т. 31. № 1. С. 74–83.
11. Мамедбейли А.К., Сафарова А.Г. Прогностическая ценность предикторов неонатальных судорог // *Сборник статей по материалам XVIII международной научно-практической конференции*. М., 2018. С. 53–59.
12. Морозова Е.А., Сергеева Р.Р., Морозов Д.В. Современные проблемы диагностики и лечения неонатальных судорог // *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2018. Т. 10. № 4. С. 18–25.
13. Дегтярев Д.Н., Ионов О.В., Киртбая А.Р., Ушакова Л.В., Воупе, Амирханова Д.Ю., Кириллова Е.А., Никифоров Д.В. Амплитудно-интегрированная электроэнцефалограмма и селективная гипотермия в неонатальной практике. М.: Паблис, 2013. 60 с.
14. Стентон Г. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 459 с.

ОБЗОРЫ

УДК 616-079.3:616.5-053.2:616.34-008.8

ПОИСК НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИИ И ПИЩЕВОЙ НЕПЕРЕНОСИМОСТИ У ДЕТЕЙ**Косякова Н.И., Андреева Л.А., Панкратова Е.В.***Больница Пушкинского научного центра РАН, Пушкино, e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru*

Исследования последних лет показали, что примерно до 20% населения имеют инактивированный в результате мутаций ген FUT2, что приводит к «несекретантному» фенотипу, и, как следствие, несущие H-антиген структуры не синтезируются на эпителиальных поверхностях слизистых и отсутствуют в молоке «матерей-несекретантов». Изменения в экспрессии H-антигена провоцируют аллергические реакции и снижают внутривидовое разнообразие кишечной микробиоты. Слюна является доступным биоматериалом, содержит множество биомаркеров, что расширяет перспективы её использования для уточнения степени дисбиоза кишечника, позволяет контролировать в динамике течение заболевания. Целью настоящего исследования стало изучение уровня летучих жирных кислот (ЛЖК) в слюне и кале у детей «несекретантного» фенотипа с верифицированным диагнозом пищевой аллергии (ПА). Показаны различия качественного и количественного изменения состава микрофлоры как у детей с «несекретантным» и «секретантным» фенотипами, так и у их матерей. Полученные данные у детей «несекретантного» фенотипа позволили рассмотреть изменения количества продуктов метаболизма в качестве важных факторов дисбиоза слизистых полости рта и кишечника. Более выраженные нарушения в микробиоте полости рта и кишечника у матерей детей «несекретантного» фенотипа могли создать предпосылки для изменения иммунного гомеостаза ребенка и негативно отразиться на формировании микробиоты кишечника.

Ключевые слова: диагностика, пищевая аллергия, пищевая непереносимость, дети, слюна, микробиота**SEARCH FOR NEW WAYS TO DIAGNOSE FOOD ALLERGIES AND FOOD INTOLERANCE IN CHILDREN****Kosyakova N.I., Andreeva L.A., Pankratova E.V.***Hospital of Pushchinsky Scientific Center of RAS, Pushchino, e-mail: nelia_kosiakova@mail.ru*

Recent studies have shown that up to about 20% of the population have the FUT2 gene inactivated as a result of mutations, which leads to a «non-secretant» phenotype, and as a result, structures carrying the H antigen are not synthesized on the epithelial surfaces of mucous membranes and are absent in the milk of mothers who are «non-secretant». Changes in the expression of the H antigen provoke allergic reactions and reduce the intraspecific diversity of the intestinal microbiota. Saliva is an accessible biomaterial, contains many biomarkers, which expands the prospects for its use to clarify the degree of intestinal dysbiosis, and allows you to control the dynamics of the course of the disease. The aim of this study was to study the level of volatile fatty acids (VFA) in saliva and feces in children of the «non-secretant» phenotype with a verified diagnosis of food allergy (PA). Differences in the qualitative and quantitative changes in the composition of microflora are shown both in children with «non-secretant» and «secretant» phenotypes, and in their mothers. The data obtained in children of the «non-secretant» phenotype allowed us to consider changes in the amount of metabolic products as important factors of dysbiosis of the mucous membranes of the oral cavity and intestines. More pronounced disturbances in the microbiota of the oral cavity and intestines in mothers of children of the «non-secretant» phenotype could create prerequisites for changing the child's immune homeostasis and negatively affect the formation of the intestinal microbiota.

Keywords: diagnostics, food allergy, food intolerance, children, saliva, microbiota

Наибольшая распространенность пищевой аллергии регистрируется у детей до 2 лет, составляя от 6 до 8%, с возрастом распространенность пищевой аллергии уменьшается и у взрослых составляет около 2% [1]. Зачастую весь спектр реакций на пищевые продукты неправомерно относят к пищевой аллергии, в то время как только треть всех проявлений непереносимости пищи реализуется через истинные IgE-зависимые аллергические реакции [2]. В структуре всей аллергопатологии за последние 5 лет, по данным института иммунологии МЗ РФ, истинная пищевая аллергия занимает 5,5%; реакции на примеси в составе пищевых продуктов – 0,9% [3]. Появились новые данные о связи кишечного биоценоза не только с патологией же-

лудочно-кишечного тракта, но и с другими аллергическими заболеваниями [4; 5]. Исследования последних лет показали, что формирование и развитие нормальной иммунной системы ребенка во многом зависит от кишечной микробиоты, а именно от её формирования во внутриутробном периоде и в первый год жизни, а такие факторы, как рождение ребенка с помощью кесарева сечения, искусственное вскармливание и прием антибиотиков на первом году жизни, ведут к нарушению запрограммированной структуры микробиоты [6, 7]. Программирование кишечной микробиоты со стороны организма человека контролируется, в частности, экспрессией генов фукозилтрансфераз FUT2 и FUT3, отвечающих за синтез структур гликопеп-

антигенов групп крови: АВО (Н антиген) и Льюис-антиген [8]. Ген FUT2 может отличаться полиморфизмом, что ведет к изменению экспрессии фукозилированных олигосахаридов в грудном молоке у женщин и в муцинах слизистых оболочек [9]. Состав олигосахаридов грудного молока зависит от секреторного статуса кормящей женщины, а также от присутствия в генотипе матери Н-антигена и антигенов системы Lewis. Влияние указанных генетических факторов определяет профиль олигосахаридов грудного молока, специфичный для носителей той или иной группы крови [9; 10]. Примерно до 20% населения имеют инактивированный в результате мутаций ген FUT2, что приводит к «несекретантному» фенотипу, и, как следствие, структуры, несущие Н-антиген, не синтезируются на эпителиальных поверхностях слизистых и отсутствуют в молоке «матерей-несекретантов» [10]. Данные антигены являются специфическими олигосахаридами и связаны с муцинами, секреторируемыми в желудочно-кишечном, мочеполовом и дыхательном трактах [11]. Они являются частью врожденного иммунитета, препятствуя адгезии патогенных микроорганизмов к эпителиальным клеткам кишечника [11]. Снижение количества и разнообразия диетических олиго- и полисахаридов ведет к сокращению как межвидового, так и внутривидового разнообразия кишечной микробиоты, а изменения в экспрессии Н-антигена могут провоцировать аллергические реакции [12]. Недавно было показано, что полиморфизм FUT2 гена является причиной генетической предрасположенности к повышенному риску аллергических заболеваний [12] и целиакии [14]. Современные методы диагностики ПА у детей раннего возраста в реальной клинической практике основываются на инвазивных технологиях, а диагностика нарушений микробиоценоза кишечника только на микробиологическом методе. Слюна же у детей является более доступной для исследования биологической жидкостью, которая содержит муцины, иммуноглобулины А, М, G, специфические белки АВО-системы, лизоцимы и другие биологически активные компоненты и таким образом является сложной и информативной биологической средой организма [15]. В связи с этим возможность исследования иммуноферментным методом (ИФА) наличия в слюне Н-антигена и летучих жирных кислот (ЛЖК) как у матери, так и у ребенка могут стать более доступным и простым методом диагностики ПА и дисбиоза кишечника.

Цель исследования – изучить уровень ЛЖК в слюне и кале у детей «несекретантного» фенотипа с верифицированным диагнозом ПА.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в отделении иммунологии и аллергологии Больницы ПНЦ РАН, в рамках Госзадания по программе № 0576-2020-0003, после подписания родителями добровольного информированного согласия и одобрения локального этического комитета Б ПНЦ РАН. Обследовано 234 ребенка в возрасте от 0 до 3 лет с клиническими проявлениями пищевой непереносимости и имеющих отягощенный аллергологический и акушерский анамнезы. Верификация диагноза [16; 17] установила истинную пищевую аллергию у 104 детей, из которых у 19 детей был определен «несекретантный» фенотип, и они составили 1-ю группу наблюдения. Методом случай-контроль была сформирована 2-я группа наблюдения (n = 20), в которую вошли дети «секретантного» фенотипа, также в возрасте от 0 до 3 лет с верифицированным диагнозом ПА. Детей до года в 1-й группе наблюдения было 7, во 2-й группе – 9, и в группе контроля 8. В исследование не включались дети с текущим обострением кожных и респираторных проявлений, с лактазной недостаточностью, целиакией, воспалительными заболеваниями кишечника. В группу контроля были включены условно здоровые дети (n = 10) в возрасте от 0 до 3 лет без клинико-лабораторного подтверждения аллергических заболеваний.

Стандартные исследования биологического материала проводили в клинико-диагностической и бактериологической лабораториях Б ПНЦ РАН по методикам, утвержденным МЗ РФ. Специфический IgE (педиатрическая панель, атопическая панель, Российская панель) определяли хемилюминесцентным методом, с использованием наборов реагентов и тест-панелей на приборе OPTIGEN, Hitachy (Япония).

Определение Н-антигена в слюне проводили методом ИФА с использованием набора реагентов «Группоспот» ООО «Гематолог», Россия.

Исследование ЛЖК в слюне и кале осуществлялось в лаборатории «Гематеста» методом газожидкостного хроматографического анализа, который позволял оценить состояние микробиоценоза полости рта и кишечника [18; 19].

Статистическая обработка проводилась с использованием пакетов статистических программ Statistica 8. Отличия между группами считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Все дети 1-й и 2-й групп наблюдения (м. – 21, д. – 18) находились в состоянии ремиссии, не получали в течение последних 3 месяцев пре- и пробиотиков и антибактериальных препаратов, имели факторы риска: отягощенная наследственность была у 34 детей (87,1%), в 2 раза чаще по линии матери; токсикозы беременности регистрировались в 46,1%, перенесенные инфекционные заболевания с применением антибиотиков во время беременности в 28,2%. Родоразрешение у всех детей проходило естественным путем. Грудное вскармливание до 6 месяцев имели 32 ребенка, 7 детей с рождения были на искусственном вскармливании. У 29 детей (74,3%) из 39 (1-й и 2-й групп наблюдения) кожные проявления возникли в течение первых 6 месяцев жизни, у 10 – к концу первого года. У 26 детей (66,6%) имели место гастроинтестинальные проявления. Современные возможности лабораторной аллергодиагностики позволяют определять спектр причинно-значимых аллергенов.

Так, у детей раннего возраста [20] чаще всего выявляется аллергия к молоку, куриному яйцу, арахису, пшенице, сое. При определении специфического иммуноглобулина Е (sIgE) в наших исследованиях аллергия к белкам коровьего молока была установлена в 71,6% случаев, к белкам куриного яйца – 59,1%, рыбе – 23,5%, пшенице – 22,9%, а также наряду с пищевыми аллергенами появились sIgE к пыльце березы – 24,6%, к клещам домашней пыли и шерсти кошки – по 22,7%, к грибам рода *Candida* – 18,4%. В анализе крови эозинофилы определялись у всех детей с верифицированным диагнозом ПА – $5,6 \pm 2,1\%$ ($p < 0,05$), общий IgE – 241 ± 64 МЕ/мл ($p < 0,05$), что подтверждало аллергический IgE-зависимый генез клинических проявлений пищевой аллергии. Микробиологическое исследование состава микрофлоры полости рта показало, что у детей от года до 3 лет «несекретантного» фенотипа отмечен обильный рост анаэробов. Содержание стафилококков было выявлено у всех детей до года, у детей от 1 года до 3 лет – в 1-й группе у 6 (50%), во 2-й группе – у 5 (33,3%), в группе контроля у 3 (30%), что указывало на более серьезные нарушения у детей «несекретантного» фенотипа. Следует отметить, что видовой состав микрофлоры полости рта у всех обследованных детей и их матерей «несекретантного» фенотипа был сравним между собой и представлен в основном стафилококками и стрептококками (*S. aureus*, *S. epidermidis*, *S. pyogenes*,

S. dysgalactiae и др.), у 7 детей и их матерей (36,8%) высевались лактобактерии и грибы рода *Candida*.

У детей «секретантного» фенотипа в возрасте от 0 до 3 лет также был отмечен обильный рост стафилококков, но отсутствовали грибы рода *Candida*. Видовой состав у матерей детей «секретантного» фенотипа был идентичен видовому составу их детей.

Дисбактериоз – наиболее часто встречающаяся патология, которая отражает изменения количественного и качественного состава бактериальной флоры ротовой полости [22].

О степени этих нарушений судят по составу ЛЖК, являющихся метаболитами анаэробных и аэробных популяций резидентной (постоянной) микрофлоры. В настоящее время к ЛЖК (фракции С2–С6) относят уксусную, пропионовую, изомасляную, масляную, изовалериановую, валериановую, изокапроновую и капроновую кислоты [22]. Микроорганизмы слизистой оболочки полости рта легко переходят в сообщающиеся полости и органы и взаимодействуют с их биотопами. Поэтому при снижении защитных свойств ротовой жидкости, в результате которого происходит замещение условно-патогенной микрофлоры патогенной, происходит развитие дисбиоза слизистой оболочки полости рта различной степени тяжести, часто взаимосвязанного с аналогичными изменениями микробиоценоза в других областях слизистой оболочки [23]. Таким образом, при различных патологиях органов ЖКТ (желудка, кишечника, печени) изменяется микрофлора, а значит, и биохимические параметры слюны. По спектру летучих жирных кислот можно судить о локализации заболевания пищеварительного тракта.

В табл. 1 представлены результаты исследования ЛЖК у детей «несекретантного» фенотипа и их матерей.

В табл. 2 представлены результаты исследования ЛЖК у детей «секретантного» фенотипа и их матерей.

Из представленных данных следует, что увеличение относительного содержания пропионовой и масляной кислот в качественном составе ЛЖК у детей «несекретантного» фенотипа и их матерей указывало на повышенное количество анаэробных микроорганизмов. Повышенный уровень пропионовой кислоты как у детей «несекретантного» фенотипа и их матерей, так и «секретантного» фенотипа, а также масляной кислоты соответственно, свидетельствовало об увеличении в полости рта смешанной анаэробной флоры и о наличии дисбиоза как у детей, так и у их матерей.

Таблица 1

Результаты исследования ЛЖК у детей «несекретантного» фенотипа и их матерей

Короткоцепочечные летучие жирные кислоты (ЛЖК)	Уровень ЛЖК у детей «несекретантного» фенотипа, ед.	Уровень ЛЖК у матерей детей «несекретантного» фенотипа, ед.	Уровень ЛЖК в слюне детей группы контроля, ед.
уксусная кислота (С2)	0,890 ± 0,09	0,780 ± 0,06	0,810 ± 0,041
пропионовая кислота (С3)	0,320 ± 0,075	0,290 ± 0,09	0,145 ± 0,007 е
масляная кислота (С4)	0,181 ± 0,055	0,172 ± 0,024	0,045 ± 0,002

($p < 0,05$)

Таблица 2

Результаты исследования ЛЖК у детей «секретантного» фенотипа и их матерей

Короткоцепочечные летучие жирные кислоты (ЛЖК)	Уровень ЛЖК у детей «секретантного» фенотипа, ед.	Уровень ЛЖК у матерей детей «секретантного» фенотипа, ед.	Уровень ЛЖК в слюне детей группы контроля, ед.
уксусная кислота (С2)	0,890 ± 0,11	0,800 ± 0,09	0,810 ± 0,041
пропионовая кислота (С3)	0,230 ± 0,06	0,210 ± 0,07	0,145 ± 0,007
масляная кислота (С4)	0,082 ± 0,043	0,077 ± 0,033	0,045 ± 0,002

($p < 0,05$)

В группе детей «несекретантного» фенотипа эти изменения оказались в 2,2 раза выше по сравнению с изменениями у детей и матерей «секретантного» фенотипа, что указывало на более выраженный у них дисбиоз микрофлоры полости рта.

При изучении микробиоценоза кишечника у детей «несекретантного» фенотипа с верифицированным диагнозом ПА и их матерей микробиологическим методом у всех отмечено сравнимое нарушение микробиоценоза, которое выражалось в снижении содержания бифидобактерий до 10^7 и ниже КОЕ/г у 14 детей и 12 матерей (10^4 – 10^9), лактобактерий до 10^4 и ниже КОЕ/г у 12 и 11 соответственно (10^1 – 10^5), ассоциации условно-патогенных микроорганизмов в концентрации 10^6 КОЕ/г и выше (10^4 – 10^9) обнаружены у 17 детей и 16 матерей, преимущественно за счет лактозонегативной или гемолизирующей *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

В группе детей «секретантного» фенотипа и их матерей также отмечено снижение, но менее выраженное по сравнению с «несекретантным» фенотипом содержания бифидобактерий до 10^8 и ниже КОЕ/г у 14 и 12 (10^6 – 10^{10}), лактобактерий до 10^5 и ниже КОЕ/г у 9 и 7 соответственно (10^4 – 10^7), а также повышение содержания гемолитических эшерихий в концентрации 10^4 КОЕ/г (10^4 – 10^5) у 11 и 9 матерей. Однако биохимическое исследование кала у детей «несекретантного» фенотипа и их матерей выявило более глубокие нарушения микробиоты кишечника. Так, у них отмечалось

снижение уровня уксусной кислоты (С2), которая является основным метаболитом анаэробной, индигенной (постоянной) микрофлоры – бифидо- и лактобактерий, и аэробов – кишечной палочки с нормальными ферментативными свойствами, что способствует недостаточности местного звена иммунитета [25]. Показатели концентрации пропионовой кислоты (С3), которая продуцируется микроорганизмами *Veilonella*, *Propionobacterium*, *Bacteroides*, *Fusobacterium*, у детей «несекретантного» фенотипа оказались существенно сниженными по сравнению с детьми «секретантного» фенотипа и по сравнению со здоровыми ($p < 0,05$), что говорит об угнетении ее основных продуцентов и дефиците соответствующих субстратов (сахаров, крахмала, пектинов) [26]. Такая же закономерность прослеживалась и по уровню масляной кислоты (С4), ответственной за состояние слизистой [26].

Таким образом, полученные данные свидетельствовали о снижении метаболической активности молочнокислой флоры: бифидобактерий и лактобактерий, а также о появлении штаммов с измененными ферментативными свойствами и о повышении метаболической активности условно-патогенной флоры. Все это указывает на ключевую роль микробиоты в становлении гомеостаза и иммунной системы у детей [26].

Заключение

Исследование показало, что слюна может стать информативной биологической

жидкостью для изучения степени нарушения микробиоценоза не только полости рта, но и кишечника, отразив качественное и количественное изменение состава микрофлоры как у детей с «несекретантным» и «секретантным» фенотипами, так и у их матерей. Примечательно, что эти изменения были идентичными между детьми и их матерями. Полученные данные позволили рассматривать изменения метаболизма ЛЖК в качестве важного фактора патогенности и дадут возможность формировать группы риска по развитию пищевой аллергии до рождения ребенка. Более выраженные нарушения в микробиоте полости рта и кишечника у матерей детей «несекретантного» фенотипа могут создать предпосылки для изменения иммунного гомеостаза ребенка и негативно воздействовать на формирование микробиоты кишечника. На фоне снижения количества бифидобактерий ожидаемо повышение проницаемости эпителиального барьера кишечника для макромолекул пищи, усиление пищевой сенсibilизации, что создает условия формирования пищевой аллергии и других atopических заболеваний [27; 28].

Таким образом, дальнейшие исследования, направленные на возможности использования данных микробиоценоза слюны полости рта и кишечника с целью предупреждения и лечения аллергических заболеваний, в том числе и пищевой аллергии, можно считать весьма актуальными.

Авторы выносят благодарность Банниковой Н.П., Акимовой О.Н., Буробиной Т.В. за оказанную помощь в работе.

Список литературы

1. Лусс Л.В., Сидорович О.И., Успенская К.С. Пищевая аллергия и пищевая непереносимость: принципы диагностики и терапии // *Лечащий врач*. 2007. № 4. С. 16–20.
2. Allen J.K., Koplin J.J. Epidemiology of IgE-mediated food allergy and anaphylaxis. *Immunol Allergy Clin. N. Am.* 2012. № 32. P. 35–50.
3. Шамитова Е.Н., Викторovich Н.Н. Развитие пищевой аллергии // *Молодой ученый*. 2016. № 26 (130). С. 215–218. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/130/36001/> (дата обращения: 22.07.2020).
4. Аллергия у детей: от теории к практике / Под редакцией Л.С. Намазовой-Барановой. М.: Союз педиатров России, 2010–2011. 608 с.
5. Nylund L., Satokari R., Nikkilä J., Rajilić-Stojanović M., Kalliomäki M., Isolauri E., Salminen S., Willem M de Vos. Microarray analysis reveals marked intestinal microbiota aberrancy in infants having eczema compared to healthy children in at-risk for atopical disease. *BMC Microbiol.* 2013. V. 13. № 1. DOI: 10.1186/1471-2180-13-12.
6. Voreades N., Kozil A., Weir T. L. Diet and the development of the human intestinal microbiome. *Rec. Discov. Evol. Genomic Microbiol.* 2015. 40 p.
7. Jakobsson H.E. et al. Decreased gut microbiota diversity, delayed Bacteroidetes colonisation and reduced Th1 responses in infants delivered by caesarean section. *Gut.* 2014. V. 63. № 4. P. 559–566.
8. Marionneau S. et al. ABH and Lewis histo-blood group antigens, a model for the meaning of oligosaccharide diversity in the face of a changing world. *Biochimie.* 2001. V. 83. № 7. P. 565–573.
9. Noll A.J., Yu Y., Lasanajak Y., et al. Human DC-SIGN binds specific human milk glycans. *Biochemical Journal.* 2016. V. 473(10). P. 1343–1353.
10. Лелевич С.В., Стемпень Т.П. Изосерологические исследования в клинике. Гродно: Гродненский ГМУ, 2018. 161 с.
11. Богданова Н.М., Булатова Е.М., Васица М.Н. Современный взгляд на микробиоценоз, иммунный ответ и факторы, влияющие на их формирование. *Фундаментальные и прикладные аспекты // Вопросы современной педиатрии*. 2013. Т. 12. № 4. С. 18–25.
12. Castanys-Munoz E., Martin M.J., Prieto P.A. 2'-fucosyllactose: an abundant, genetically determined soluble glycan present in human milk. *Nutr. Rev.* 2013. V. 71(12). P. 773–789.
13. Sprenger N. et al. FUT2-dependent breast milk oligosaccharides and allergy at 2 and 5 years of age in infants with high hereditary allergy risk. *Eur. J. Nutr.* 2016. P. 1–9.
14. Parmar A. S. et al. Association study of FUT2 (rs601338) with celiac disease and inflammatory bowel disease in the Finnish population. *Tissue antigens.* 2012. V. 80. № 6. P. 488–493.
15. Кочурова Е.В., Козлов С.В. Диагностические возможности слюны // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2014. № 1. С. 13–15.
16. Клинические рекомендации. Пищевая аллергия. МКБ 10: L20.8/L27.2/K52.2/T78.1 Профессиональные ассоциации: Союз педиатров России, 2018. 50 с.
17. Макарова С.Г., Намазова-Баранова Л.С., Вишнева Е.А., Геворкян А.К., Алексеева А.А., Петровская М.И. Актуальные вопросы диагностики пищевой аллергии в педиатрической практике // *Вестник РАМН*. 2015. № 1. С. 41–46.
18. Вавилова Т.П. Биохимия тканей и жидкостей полости рта: учебник. М.: Издат. группа «ГЭОТАР-Медиа», 2012. 203 с.
19. Урсова Н.И. Дисбактериозы кишечника в детском возрасте: инновации в диагностике, коррекции и профилактике: Руководство для врачей. М., 2013. 328 с.
20. World Allergy Organization (WAO). Diagnosis and Rationale for Action against Cow's Milk Allergy (DRACMA) Guidelines. *Pediatr Allergy Immunol.* 2010. 21 (Suppl. 21). P. 1–125.
21. Хавкин А.И., Ипполитов Ю.А., Алешина Е.О., Комарова О.Н. Микробиота полости рта: фактор защиты или патогенности? // *Вопросы практической педиатрии*. 2015. Т. 10. № 4. С. 49–54.
22. Биохимия ротовой жидкости в норме и при патологии: учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по специальности «Стоматология». М.: Издательство ИКАР, 2017. 64 с.
23. Шабашова Н.В., Данилова Е.Ю. Местный иммунитет и микробиота ротовой полости (обзор) // *Проблемы медицинской микологии*. 2015. Т. 17. № 4. С. 4–12.
24. Мазанкова Л.Н., Новокшонов А.А., Майкова И.Д. Микробиоценоз кишечника и иммунитет // *Детские инфекции*. 2007. Т. 6. № 1. С. 9–12.
25. Кондракова О.А., Затевалов А.М., Мазанкова Л.Н. Определение метаболической активности анаэробной микрофлоры по содержанию летучих жирных кислот в кале и слюне для характеристики дисбиотических состояний кишечника и ротовой полости у детей (метод газожидкостной хроматографии): пособие для врачей. М., 2005. 55 с.
26. Sommer F., Backhed F. The gut microbiota – masters of host development and physiology. *Nature Reviews Microbiol.* 2013. № 4. P. 227–238.
27. McCoy K.D., Koller Y. New developments providing mechanistic insight in-to the impact of the microbiota on allergic disease. *Clin Immunol.* 2015. V. 159 (2). P. 170–176.
28. Макарова С.Г., Болдырева М.Н., Лаврова Т.Е., Петровская М.И. Кишечный микробиоценоз, пищевая толерантность и пищевая аллергия. Современное состояние проблемы // *Вопросы современной педиатрии*. 2014. № 13 (3). С. 21–29.

УДК 618.14-002.2-08-039: 618.177:618.39

ПОДГОТОВКА К ПРОГРАММАМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ЭНДОМЕТРИТЕ

Оздоева И.М.-Б., Петров Ю.А., Султыгова Л.А.

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

Представлены современные данные о неудачах вспомогательных репродуктивных технологий при хроническом эндометрите и тактике его лечения. Но частота наступления беременности после проведения экстракорпорального оплодотворения доходит лишь до 35–40%, а частота родов – до 20%. С этим связано изучение и выяснение всех факторов, которые влияют на успех и неудачи проведения ЭКО и ИКСИ. Одной из самых часто встречающихся патологий у женщин, которые планируют проведение ЭКО/ИКСИ, и основным этиологическим фактором, приводящим к неудачному исходу вспомогательных репродуктивных технологий, считается хронический эндометрит. Частота встречаемости его достигает 40–85%. Установлено, что для достижения успешной имплантации и возникновения беременности эндометрий должен иметь определенные характеристики. В число их входит способность эндометрия к имплантации – если говорить другими словами, то это восприимчивость его к эмбриону, или рецептивность. Подмечено, что эндометрий является главным элементом в осуществлении процессов прикрепления, сложной интеграции и взаимного обмена сигналами между плодным яйцом и клетками эндометрия. Отмечено, что комплексное лечение, включающее несколько этапов, повышает вероятность удачной попытки ЭКО.

Ключевые слова: хронический эндометрит, бесплодие, вспомогательные репродуктивные технологии, невынашивание беременности, заболевания органов малого таза

PREPARATION FOR ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGY PROGRAMS IN CHRONIC ENDOMETRITIS

Ozdоеva I.M.-B., Petrov Yu.A., Sultygova L.A.

Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

Modern data on failures of assisted reproductive technologies in chronic endometritis and its treatment tactics are presented. But the frequency of pregnancy after in vitro fertilization reaches only 35–40%, and the birth rate is 20%. This involves studying and finding out all the factors that affect the success and failure of IVF and ICSI. One of the most common pathologies in women who are planning IVF/ICSI and the main etiological factor that leads to an unsuccessful outcome of assisted reproductive technologies is considered to be chronic endometritis. The frequency of its occurrence reaches 40–85%. It is established that in order to achieve successful implantation and pregnancy, the endometrium must have certain characteristics. These include the ability of the endometrium to implant – in other words, its receptivity to the embryo or receptivity. It is noted that the endometrium is the main element in the implementation of attachment processes, complex integration and mutual exchange of signals between the fetal egg and endometrial cells. It is noted that complex treatment, including several stages, increases the probability of a successful IVF attempt.

Keywords: chronic endometritis, infertility, assisted reproductive technologies, miscarriage, pelvic diseases

Проблема бесплодия во всем мире остается очень актуальной проблемой и в последнее время наблюдается ее еще большее обострение [1–3]. Доля бесплодных браков в России приравнивается к 19–20% [4]. Данный показатель выше 15%, что считается глобальной проблемой для здравоохранения и в целом государства. Вспомогательные репродуктивные технологии (ВРТ) (экстракорпоральное оплодотворение, интрацитоплазматическая инъекция сперматозоида) являются одной из возможностей решения данной проблемы. ЭКО – настоящая сенсация XX в. Многие ученые рассматривают ЭКО как отличную возможность для исследования и изучения оплодотворения с помощью современных методов.

Когда традиционные методы лечения бесплодия оказываются неэффективными,

ВРТ выступают как возможность или шанс избавиться от этой проблемы [5, 6].

На благоприятный исход после экстракорпорального оплодотворения влияет множество факторов, в числе которых нормальное состояние матки – без всяких патологий, качество и техника переноса эмбрионов, возраст и состояние здоровья женщины, состояние эндометрия, проток стимуляции.

Одним из наиболее часто встречающихся патологических процессов у женщин, которые планируют проведение ЭКО/ИКСИ, и основным этиологическим фактором, приводящим к неудачному исходу вспомогательных репродуктивных технологий, считается хронический эндометрит. Частота встречаемости его достигает 40–85%, что связано с проведением различных вмешательств в полость матки, абортми. Они

в свою очередь являются факторами риска возникновения хронического эндометрита.

Данных литературы, которые свидетельствовали бы о воздействии хронического эндометрита на эффективность ВРТ, мало и они противоречивы [6, 7].

Цель работы: проанализировать литературу, которая посвящена изучению воздействия хронического эндометрита на исход ЭКО и его лечению.

Хронический эндометрит – воспалительный процесс, который характеризуется нарушениями функции и структуры эндометрия, причиной которых выступает инфекционный агент [8]. Считается, что хронический эндометрит становится этиологическим фактором бесплодия примерно в 20–40% случаев, неясного генеза – 30%, повторного невынашивания – 10%, повторной неудачи ЭКО – 25%, снижения частоты прикрепления плодного яйца – 12% [9].

Восходящий путь инфицирования из цервикального канала считается главным звеном патогенеза хронического эндометрита. Поверхность эндометрия, подвергшаяся повреждению, является подходящей и благоприятной средой для размножения и жизнедеятельности различных микроорганизмов (сгустки крови, некроз тканей, нити фибрина). Все это способствует склеиванию большого количества микроорганизмов и их внедрению в ткань матки. Затем происходит активация лимфоидной ткани, которая пытается локализовать и минимизировать воспалительный процесс. Преобладающее число условно-патогенных микроорганизмов, обладающих низкоиммунногенными свойствами, определяет эволюционно детерминированное свойство избегать контроля со стороны системы иммунитета, а слишком высокая степень распространения облигатной микрофлоры приводит к осуществлению патогенности микроорганизмов [10, 11].

Воспалительный очаг в эндометрии влечет за собой лейкоцитарную инфильтрацию, фиброз и склероз соединительной ткани, вследствие чего возникает расстройство сосудистой микроциркуляции с отеком, уплотнением стромы и ишемией ткани. Все эти процессы в дальнейшем ведут к нарушениям менструального цикла, препятствуют прикреплению плодного яйца. Таким образом, возникают такие проблемы, как бесплодие, неудачные попытки ЭКО, осложнения беременности и родов, невынашивание беременности [12].

Большинство ученых отметили частоту сочетания хронического эндометрита с другими инфекционными хроническими заболеваниями, например пиелонефри-

том хроническим гастритом, тонзиллитом. Длительное нахождение в организме разных групп патологических микроорганизмов нарушает процессы резистентности, способствует сенсibilизации организма, приводит к возникновению аутоиммунных процессов, что еще больше утяжеляет состояние женщины [10].

Факторов риска возникновения хронического эндометрита огромное количество. Из числа значительных особое место занимают разнообразные манипуляции в маточной полости. Прерывание беременности искусственным путем, гидросонография, диагностические выскабливания стенки маточной полости, биопсия эндометрия, гистероскопия, гистеросальпингография, внутриматочная инсеминация, экстракорпоральное оплодотворение – в 95% случаев могут стать причиной появления хронического эндометрита [11].

Хронический эндометрит часто может протекать без особых клинических проявлений или может протекать с комплексом неспецифических признаков – тазовая боль, дисфункциональные маточные кровотечения, бели. В 65% случаев – с болями в гипогастрии. Признаки воспаления – в ОАК (лейкоцитоз, повышение СРБ), повышение температуры тела – у пациенток с ХЭ не наблюдаются [12].

Тщательно собранный анамнез, клиника заболевания (при наличии), сбор анамнестических сведений, микроскопическое исследование мазков из влагалища, цервикса мочеиспускательного канала, посев на УПФ, ПЦР-диагностика, бактериологическое исследование отделяемого из цервикального канала и слизистой матки, трансвагинальное УЗИ органов малого таза, пайпель-биопсия эндометрия и офисная гистероскопия, а также гистологическое исследование биоптата эндометрия помогают в проведении диагностики хронического эндометрита. Все перечисленные выше диагностические мероприятия имеют огромное значение при постановке диагноза ХЭ, но единого мнения об эффективности ультразвукового исследования при диагностике хронического эндометрита нет [13].

До сих пор нет единого мнения по поводу самого благоприятного времени забора материала на биопсию и толщине части эндометрия, который нужен для обнаружения хронического эндометрита. Есть сведения, что хронический эндометрит лучше всего выявляется в фазу пролиферации и поэтому проводить забор материала следует на 5–8 день менструального цикла [14].

В настоящее время имеется много гистероскопических проявлений данной па-

тологии. Это симптом клубники (очаги гиперемии с белой точкой в центре по всему эндометрию или локализованные), белые, легко кровоточащие бляшки, а также вид кольца – одного или нескольких [15].

Для достижения успешной имплантации и возникновения беременности эндометрий должен иметь определенные характеристики. В первую очередь это способность эндометрия к имплантации – если говорить другими словами, то это восприимчивость его к эмбриону, или рецептивность [16].

Если у пациентки хронический эндометрит, то при проведении ЭКО у нее в большинстве случаев наблюдают расстройство рецептивности во время открытого окна имплантации. В норме открытие его происходит в 6–8 день овуляции или пункции фолликулов. Нарушение рецептивности в этот период представляет собой чрезвычайно неблагоприятный фактор для того, чтобы беременность наступила. Это именно тот период, когда повышается рецептивность и эмбрион может прикрепиться к маточной стенке [17].

Эндометрий является главным элементом в реализации механизмов адгезии, сложной интеграции и взаимного обмена импульсами между эмбрионом и эндометрием, когда последний по каким-то причинам, а именно из-за существенного его повреждения, теряет свои имплантационные свойства, происходит расстройство механизмов прикрепления, возникновение патологических типов имплантации [18].

До сих пор идет поиск маркеров рецептивности эндометрия. Из числа уже известных особого внимания заслуживают адгезивные молекулы, многообразные ростовые факторы (гранулоцитарный макрофагальный, сосудистый эпителиальный ростовой фактор), ряд цитокинов (лейкемия ингибирующий фактор, интерлейкины – 1,6), а также пиноподии эндометрия [19].

Под термином рецептивность понимают совокупность структурных, а также функциональных параметров эндометрия, которые определяют имплантационную способность эндометрия. Причин расстройства рецептивности огромное количество, но наиболее значимыми являются следующие: воспалительный процесс в эндометрии, включая возникновение лимфоцитарных плазмочитов; увеличение количества макрофагов и больших зернистых лимфоцитарных клеток; расстройство соотношения провоспалительных и регуляторных цитокинов с преобладанием количества хелперов первого типа (ФНО, трансформирующий ростовой фактор бета); активация пролиферации и гибели клеток эндометрия,

расстройство тканевой и сосудистой архитектоники, а также воспалительные процессы, происходящие в эндометрии.

Оценку нарушениям, происходящим в эндометрии, а также оценку благоприятного исхода беременности можно давать по степени воспалительного очага в эндометрии, включая наличие лимфоцитарных плазмочитов. Что касается других вышеперечисленных факторов, то они дают оценку запущенности процесса воспаления в эндометрии, масштаба вовлеченности в воспалительный процесс разнообразных элементов. По ним можно судить и о возможной обратимости данных механизмов [12, 20].

На практике в научных исследованиях доказано, что хронический эндометрит влияет на исход ЭКО, соответственно, он требует лечения. После постановки диагноза хронический эндометрит, перед проведением ЭКО проводится комплексное лечение, состоящее из нескольких этапов. Лечение данной патологии чаще всего длится 2–3 месяца. Проведение ЭКО возможно только после подтверждения факта выздоровления [21].

Что касается лечения рассматриваемого патологического процесса, то оно является довольно непростой и крайне важной задачей. В частности, для пациенток у которых в анамнезе имеются репродуктивные потери в прошлом.

В лечении хронического эндометрита до сих пор нет единого мнения. Как полагают большинство ученых, в 80–90% случаев инфекционный агент не является основным фактором возникновения хронического эндометрита. Исходя из этого мнения, они считают, что антибактериальная терапия необязательна, если не имеется признаков усугубления процесса воспаления [14, 22].

На этапе прегравидарной подготовки многие ученые приветствуют проведение эмпирической АБ-терапии в лечении ХЭ. Однако только этиологического лечения недостаточно, и поэтому для успешной терапии больных с хроническим эндометритом необходимо применение его в комплексе с патогенетическим.

В лечении хронического эндометрита известны следующие методы терапии: антибактериальная химиотерапия для уничтожения инфекционного агента, вазотропные лекарственные препараты, проведение коррекции иммунитета, десенсибилизирующая терапия, физиотерапия.

В случае атрофических процессов в эндометрии подключается комплекс препаратов для активации процессов метаболизма (антиоксидантная терапия, гепатопротекто-

ры, системная энзимотерапия, витаминные препараты), а восстановить рецептивность и трофику эндометрия поможет физиотерапия, что также улучшает кровообращение малого таза, разрушает наложения фибрина, усиливает иммунную защиту.

Наиболее часто применяемыми методами являются терапия электрическими импульсами, интерферентные токи, терапия электромагнитными полями, токи надтоновой частоты, ультразвуковое воздействие (антисептический эффект), лечение лазерным лучом, иглорефлексотерапия, магнитотерапия, пелоидотерапия. Однако стоит учитывать, что при хроническом эндометрите с гиперплазией эндометрия физиотерапия не показана. В данной ситуации лучше назначить антиоксиданты и препараты, подавляющие процессы гиперплазии [23].

Гестагенные препараты назначают при недостаточности лютеиновой фазы при гипертрофическом варианте хронического эндометрита во вторую фазу, учитывая гормональный статус женщины [24].

Уничтожение повреждающего агента, снижение активности вируса (при вирусной инвазии), купирование клинических проявлений и сведение к минимуму риска отдаленных последствий – это первый этап лечения, для которого используются этиотропные лекарственные средства с учетом вирусной чувствительности.

В лечении хронического эндометрита применяются антибиотики, обладающие широким спектром воздействия и большой проникающей в клетку способностью. К таковым относятся макролиды (азитромицин, кларитромицин) в комплексе с цефалоспоридами третьего поколения, защищенные пенициллины. Наиболее эффективным считается начало лечения с первого дня менструации. По длительности лечение может варьироваться и составлять неделю, а может составлять 10–12 дней [6, 25].

Противогрибковые лекарственные препараты также используются для предотвращения грибковой инфекции. Среди них выделяют полиены, аллиламины, азолы местного действия, производные триазола и др. Препараты флуконазола являются наиболее часто применяемыми из всего спектра антимикотических лекарственных препаратов. Антипротозойные препараты тоже могут применяться в лечении ХЭ [26].

Если имеются клинические признаки вирусной инвазии, после антибиотикотерапии применяют противовирусные и иммуномодулирующие лекарственные средства на протяжении 3–4 месяцев. Из большого количества противовирусных и иммуномо-

дулирующих препаратов ацикловир является препаратом, который применяется чаще остальных. Не нужно забывать и про его производные, такие как пенцикловир, валацикловир. Эффективность и необходимость применения данных лекарственных препаратов в лечении больных, которые имеют хронические процессы инфекционного генеза, доказана. Доказано и то, что эффективность АБ-терапии, противовирусных препаратов и антимикотиков значительно ниже у людей с иммунодефицитными состояниями [18, 27].

Стоит обратить внимание и на необходимость проведения корректировки иммунных расстройств в процессе терапии [28].

Второй этап терапии включает в себя возобновление морфологического и функционального резерва тканей и устранение нарушений вторичного характера: расстройства обмена веществ, коррекция последствий ишемии и рецепторного аппарата эндометрия. Реабилитация должна быть довольно продолжительной и проходить под постоянным контролем [29].

Цель лечения хронического эндометрита заключается в обеспечении условий для наступления беременности и сведении к минимуму или полном устранении всевозможных осложнений и последствий [13, 24].

Признаками успешной терапии хронического эндометрита являются: исчезновение клинических проявлений болезни, отсутствие воспалительных признаков, уничтожение вредоносных микроорганизмов из эндометрия, восстановление кровотока в яичниковых и маточных артериях, восстановление нормальной менструальной функции [25].

Нужно отметить, что вероятность удачной попытки ЭКО после проведенного своевременного комплексного и успешного лечения возрастает. При нормализации состояния эндометрия после выздоровления вероятность забеременеть приравнивается к 70%, частота благополучных родов к 61%, а вероятность выкидышей – к 4%. Напротив, при продолжающихся признаках хронического эндометрита и отсутствии выздоровления вероятность беременности равна всего 40%, процент живорождения составляет 13%, а частота выкидышей 20% [30].

Таким образом, можно сделать вывод, что своевременное комплексное лечение хронического эндометрита в несколько этапов у женщин, страдающих данным патологическим процессом, является важнейшей задачей для успешного и благоприятного результата вспомогательных репродуктивных технологий.

Список литературы

1. Петров Ю.А. Здоровье семьи – здоровье нации. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Медицинская книга, 2020. 320 с.

2. Петров Ю.А., Ковалева Э.А. Допустимая продолжительность применения полиэтиленовых внутриматочных контрацептивов // Акушерство и гинекология. 1986. Т. 62. № 7. С. 40–41.

3. Петров Ю.А. Воздействие продолжительной внутриматочной контрацепции на эндометрий // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25101> (дата обращения: 01.07.2020).

4. Унанян А.Л., Колосович Ю.М. Хронический эндометрит: этиопатогенез, диагностика, клиника и лечение. Роль антифиброзирующей терапии // Лечащий врач. 2013. № 11. С. 1–8.

5. Горбачева Т.И., Маркова Е.А., Кузнецова Т.А., Востриков В.В. Клинические предикторы родов в программах вспомогательных репродуктивных технологий у пациенток с хроническим эндометритом // Мать и дитя в Кузбассе. 2013. № 4 (55). С. 24–30.

6. Кулавский В.А., Мехдиева Ю.Д., Фролов А.Л. Современный взгляд на лечение хронического эндометрита // Медицинский вестник Башкортостана. 2015. № 4. С. 96–102.

7. Спирина Ю.А., Евтушенко И.Д. Подготовка пациенток, страдающих хроническим эндометритом, к программам вспомогательных репродуктивных технологий // Сибирский медицинский журнал. 2008. № 1 (5). С. 84–85.

8. Петров Ю.А. Микробиологические детерминанты хронического эндометрита // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2011. № 6 (166). С. 110–113.

9. Радзинский В.Е., Петров Ю.А., Полина М.Л. Хронический эндометрит: современные аспекты // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 24. № 5. С. 69–74.

10. Radzinskiy V.E., Kostin I.N., Polina M.L., Petrov Yu.A., Gasanova V.M. Diagnostic significance of chronic endometritis macrotypes differentiation among women with reproductive losses. *Gynecological Endocrinology*. 2017. Т. 33. № S1. С. 36–40.

11. Петров Ю.А. Хронический эндометрит. М.: Медицинская книга, 2018. 320 с.

12. Усольцева Е.О. Прогнозирование эффективности ЭКО у женщин с повторными неудачами имплантации на основании иммуногистохимических параметров эндометрия // Журнал акушерства и женских болезней. 2017. № 16. С. 153–156.

13. Петров Ю.А. Гистероскопическая характеристика эндометрия женщин с ранними репродуктивными потерями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № S5. С. 243–247.

14. Коваленко Я.А., Крутова В.А., Наумова Н.В., Чуприненко Л.М. Эффективность программы экстракорпорального оплодотворения и переноса эмбриона у женщин с хроническим эндометритом // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 24. № 6. С. 59–64. DOI: 10.25207/1608-6228-2017-24-6-59-64.

15. Варганян Э.В., Девятова Е.А., Цагурова К.А., Аглямова Д.Р. Роль системной терапии при бесплодии и неудачах реализации репродуктивной функции // Акушерство, гинекология и репродукция. 2018. Т. 12. № 1. С. 5–16.

16. Кривонос М.И., Зайнулина М.С., Чепанов С.В., Селютин А.В., Сельков С.А. Клинико-иммунологические

аспекты ведения женщин с неудачами ВРТ // Журнал акушерства и женских болезней. 2014. Т. 15. № 5. С. 89–96.

17. Чертовских М.Н., Кулинин С.И. Оптимизация прегравидарной подготовки больных с неудачными программами ВРТ при бесплодии // *Acta Biomedica Scientifica*. 2013. № 2 (90). С. 83–88.

18. Крутова В.А., Чулкова А.М., Ванян Д.Л., Чуприненко Л.М., Каспарян Р.А. Неоадьювантная диагностика и лечение хронического эндометрита // Кубанский научный медицинский вестник. 2018. Т. 25. № 1. С. 21–28.

19. Рудакова Е.Б., Полторака Е.В., Лузин А.А., Пилипенко М.А., Лобода О.А., Бурова О.М. Возможности повышения результативности вспомогательных репродуктивных технологий // Вестник Новосибирского государственного университета. 2009. Т. 7. № 2. С. 20–25.

20. Давыдова А.А., Сулима А.Н., Вороная В.В., Рыбалка А.Н. Иммуногистохимические маркеры в современной диагностике хронического эндометрита у женщин с многократными неудачами имплантации // Крымский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2017. Т. 7. № 3. С. 86–90.

21. Улышина О.А. Хронический эндометрит: место в структуре внутриматочной патологии с первичным и вторичным бесплодием // Наука, образование, общество: Тенденции и перспективы развития. Сборник статей. 2017. С. 86–90.

22. Чертовских М.Н., Кулинич С.И. Оптимизация прегравидарной подготовки больных с неудачными программами ВРТ при бесплодии // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 2–2. С. 83–86.

23. Замаховская Л.Ю., Рудакова Ю.Б., Трубникова О.Б. Факторы риска и профилактика ранних потерь беременности после экстракорпорального оплодотворения // Медицинский совет. 2016. № 12. С. 88–94.

24. Целкович Л.С., Кравцова О.А., Верховникова Т.С. Экстракорпоральное оплодотворение: морфологические критерии готовности эндометрия к имплантации // Аспирантский вестник Поволжья. 2017. № 1. С. 43–47.

25. Лызикова Ю.А. Хронический эндометрит как причина нарушений репродуктивной функции у женщин // Проблемы здоровья и экологии. 2015. № 3 (45). С. 9–16.

26. Авраменко Н.В., Гридина И.Б., Ломейко Е.А. Хронический эндометрит как фактор нарушения репродуктивного здоровья женщин // Запорожский медицинский журнал. 2015. № 6 (93). С. 93–97.

27. Лысенко О.В., Рождественская Т.А. Проблема «тонкого» эндометрия в репродуктивной медицине: опыт применения рекомбинантного интерлейкина-2 человека для подготовки пациенток к программам вспомогательных репродуктивных технологий // Журнал акушерства и женских болезней. 2017. Т. 66. № 4. С. 46–50.

28. Билан В.Е., Овчинникова В.В., Тихомирова Е.В., Лапина А.В., Панина Е.М. Новые возможности терапии хронического эндометрита // Медицинский алфавит. 2017. Т. 3. № 23. С. 37–41.

29. Сыромятникова С.А., Базина М.И., Егорова А.Т. Гистероскопия в программах вспомогательных репродуктивных технологий // Сибирское медицинское обозрение. 2013. № 1. С. 14–17.

30. Кургускина Е.А., Гурьева В.А., Александров М.Т. Медицинская технология подготовки пациенток, страдающих хроническим эндометритом к программам ВРТ // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2017. Т. 19. № 3. С. 16–20.

СТАТЬИ

УДК 004.855

**ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВЫХ СИСТЕМАХ****Денисенко А.А.***ЧП Денисенко, Ирпень, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

Классификация изображений является одним из наиболее фундаментальных приложений в области компьютерного зрения и по-прежнему вызывает огромный интерес. Люди способны распознавать большое количество объектов на изображениях без особых усилий, несмотря на то, что ряд характеристик объектов может меняться. Объекты могут распознаваться даже тогда, когда их обнаружение частично затруднено. В то же время алгоритмическое описание задачи распознавания для выполнения ее компьютерной реализации по-прежнему остается актуальной проблемой. Существующие методы ее решения эффективны только для частных случаев (например, для геометрических объектов, человеческих лиц, дорожных знаков, печатных или рукописных символов) и только в определенных условиях. Модель, предназначенная для идентификации и классификации объектов, должна уметь находить их местоположение, а также выделять различные признаки объектов, такие как края, углы, цветовые различия и т.д. Глубокие модели сверточных нейронных сетей показали наибольшую производительность при работе с изображениями, которая иногда превышает возможности человеческого зрения. Тем не менее даже при этом значительном улучшении все еще приходится сталкиваться с некоторыми проблемами, связанными с переобучением и вымыванием (затуханием) градиента. Для их решения используются некоторые известные методы: аугментация данных, пакетная нормализация и дропаут; современные модели, предназначенные для классификации, не выполняют преобразование цветового пространства исходных цветных изображений, представленных в формате RGB. Изучение использования различных цветовых пространств в задаче классификации изображений относится к актуальным проблемам глубокого обучения и определяет актуальность настоящего исследования. Решение этой задачи позволит улучшить производительность используемых моделей.

Ключевые слова: цветовое пространство, сверточные нейронные сети, глубокое обучение, классификация изображений, проблема затухания градиента

**DEEP LEARNING FOR IMAGE CLASSIFICATION
IN DIFFERENT COLOR SYSTEMS****Denisenko A.A.***PE Denysenko, Irpin, e-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

Image classification is one of the most fundamental applications in the field of computer vision, which continues to receive attention. People recognize a large number of objects in images with little effort, even though a number of their characteristics can change. Objects can be recognized even when their detection is partially difficult. At the same time, the algorithmic description of the recognition problem for performing its computer implementation is still an urgent problem. The existing methods for solving it are effective only for special cases (for example, for geometric objects, human faces, road signs, printed or handwritten symbols) and only under certain conditions. A model designed to identify and classify objects must be able to find their location, as well as highlight various features of objects, such as edges, corners, color differences, etc. Deep models of convolutional neural networks have shown the greatest performance when working with images, which sometimes exceeds the capabilities of human vision. However, even with this significant improvement, there are still some issues with overfitting and gradient fading. To solve them, some well-known methods are used: data augmentation, batch normalization and dropout; modern models for classification do not perform color space conversion on original RGB images. The use of different color spaces in the task of image classification is one of the topical problems of deep learning and determines the relevance of this study. Solving this problem will improve the performance of the models used.

Keywords: color space, convolutional neural networks, deep learning, image classification, vanishing gradient

Методы глубокого обучения превратили приложения, которые ранее требовали экспертных знаний в области компьютерного и машинного зрения, в инженерные задачи. Глубокое обучение позволило перенести нагрузку от создателей приложений, которые разрабатывают и пишут сценарии алгоритмов, основанных на правилах, на инженеров, обучающих системы. Оно также открыло новые возможности для решений задач, которые никогда не выполнялись без человека. Таким образом, глубокое обучение дало возможность существенно облегчить работу в области машинного зрения,

расширяя границы возможностей компьютера и камеры, то есть того, что они могут точным образом изучить.

Классификация изображений является одним из наиболее фундаментальных приложений в области компьютерного зрения. Глубокие модели сверточных нейронных сетей показали наибольшую производительность при работе с изображениями, которая иногда превышает возможности человеческого зрения [1]. Тем не менее даже при этом значительном улучшении все еще приходится сталкиваться с некоторыми проблемами, связанными с пере-

обучением и вымыванием (затуханием) градиента. Для их решения используются некоторые известные методы: аугментация данных, пакетная нормализация и дропаут; современные модели, предназначенные для классификации, не выполняют преобразование цветового пространства исходных цветных изображений, представленных в формате RGB.

Возрастающая актуальность использования различных цветовых пространств для улучшения производительности определяет мотивацию эксперимента, представленного в данной работе.

Цель текущего исследования – изучить влияние цветового пространства в задаче классификации изображений. Для достижения цели набор данных CIFAR-10 будет преобразован в пять других цветовых пространств, а именно HLS, HSV, LUV, LAB, YUV, затем на каждом из них будут обучены две различные модели архитектуры глубокого обучения: ResNet20 [2] и CapsuleNet [3].

Материалы и методы исследования

В последнее время сверточные нейронные сети продемонстрировали существенное улучшение производительности в задачах классификации изображений [4]. Тем не менее в качестве входных данных они принимают наборы изображений в основном в пространстве RGB, хотя существует много других доступных цветовых пространств.

Для достижения цели исследования в работе была рассмотрена архитектура ResNet, занявшая первое место в международном соревновании по классификации 2015 г. [2]. Потребность в этой архитектуре была вызвана тем, что глубокие модели при добавлении слишком большого количества слоев могут показывать худшую точность в том случае, если сходимость сети была достигнута ранее. Таким образом, необходимо было обеспечить оптимальную глубокую сеть.

Архитектура ResNet (сокращение от residual network – рус. «остаточное обучение»). Здесь «остаточная» структура обучения подразумевает проверку соответствия добавляемых новых слоев некоторым «остаточным» слоям, смысл использования которых состоит в том, что, когда модель сети обучается, проще сбросить остаток слоев до нуля и обучить сеть нулю, чем согласовать обучение линейному преобразованию с помощью набора нелинейных слоев. То есть сеть обучается предсказывать функцию $F(x) - x$ вместо функции $F(x)$, а для компенсации этой разницы добавля-

ется так называемое «закрывающее соединение» между слоями «остаточного блока».

Применительно к задаче классификации изображений использование такой архитектуры позволяет решить проблему затухающего градиента, возникающей по причине того, что при дифференцировании по цепному правилу до глубоких слоев нейронной сети доходит небольшая величина градиента (из-за многократного домножения на небольшие величины на предыдущих слоях).

Вторая рассматриваемая архитектура – CapsNet – новая модель капсульной нейронной сети, написанная в результате экспериментов с фреймворком Keras [5], который представляет собой высокоуровневый API нейронных сетей, написанный на Python и способный работать поверх библиотеки глубокого обучения TensorFlow. Капсульная сеть обеспечивает механизм маршрутизации. Она может иметь много слоев, состоящих из капсул. Капсула – это группа нейронов, которые могут выполнять вычисления на своих входах, а затем вычислять выходные данные в форме вектора. Вычисления нейронов внутри капсулы могут представлять различные признаки изображения, такие как размер, положение, деформация, ориентация и т.д. объекта или части объекта, который присутствует на данном изображении. CapsNet использует длину выходного вектора для представления существования объекта. Длина выходного вектора капсулы не может превышать единицу благодаря применению нелинейной функции, которая оставляет направление вектора неизменным, но уменьшает его величину.

CapsNet предлагает включить механизм маршрутизации между двумя слоями капсул. Механизм маршрутизации создает капсулу в одном слое для связи с некоторыми или вообще всеми капсулами в следующем слое.

Следует отметить, что существуют и другие архитектуры, такие как VGG, GoogLeNet, и другие фреймворки, такие как Caffe, Pytorch. Текущий эксперимент сосредоточен на процессорных вычислениях.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения эксперимента был использован набор данных CIFAR-10 [6], который состоит из 60000 цветных изображений 32x32 десяти классов (самолет, автомобиль, птица, кошка, олень, собака, лягушка, лошадь, корабль и грузовик), по 6000 изображений в каждом классе. Всего имеется 50000 изображений обучающей выборки и 10000 изображений тестовой выборки.

Набор данных был преобразован в различные цветовые пространства так, как показано на рис. 1. Результат преобразования представлен в нижней части изображения.

Используемая в работе модель CIFAR10_ResNet состоит из двадцати слоев – и это

модификация модели ResNet20, сохраняющая ту же структуру и свойства. Вид этой модели и ее слоев приведен на рис. 2. Каждый слой ResNet состоит из блоков «обычных» слоев, при этом каждый блок имеет два или три уровня глубины.

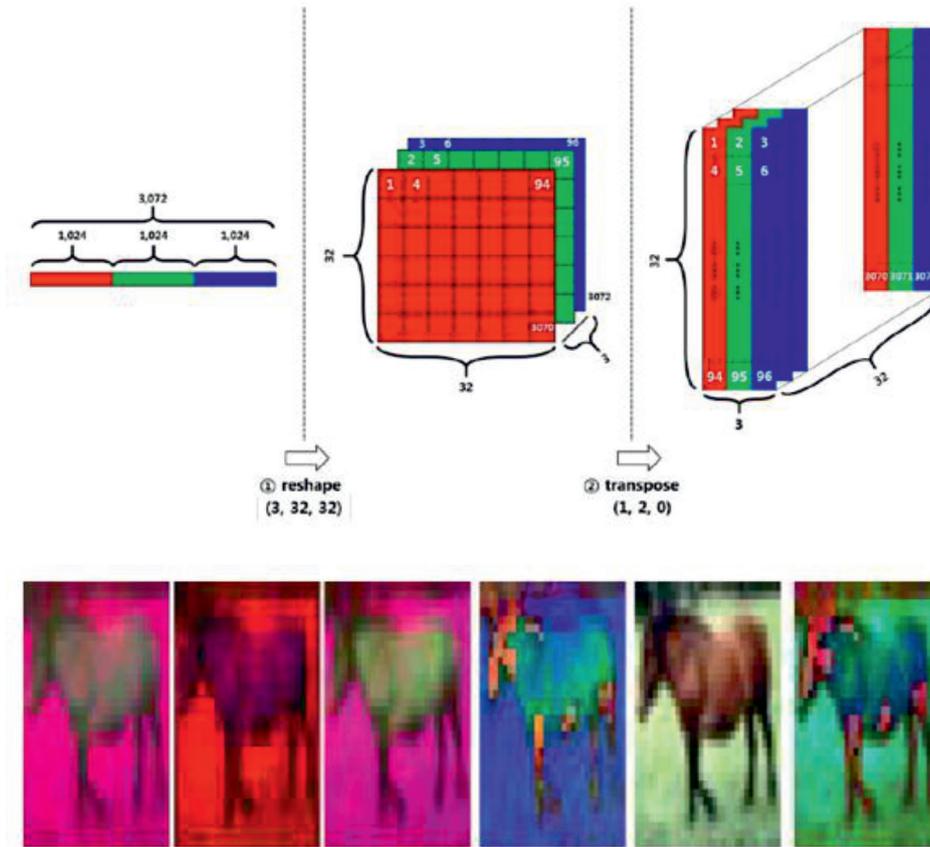


Рис. 1. Преобразование изображения в различные цветовые пространства

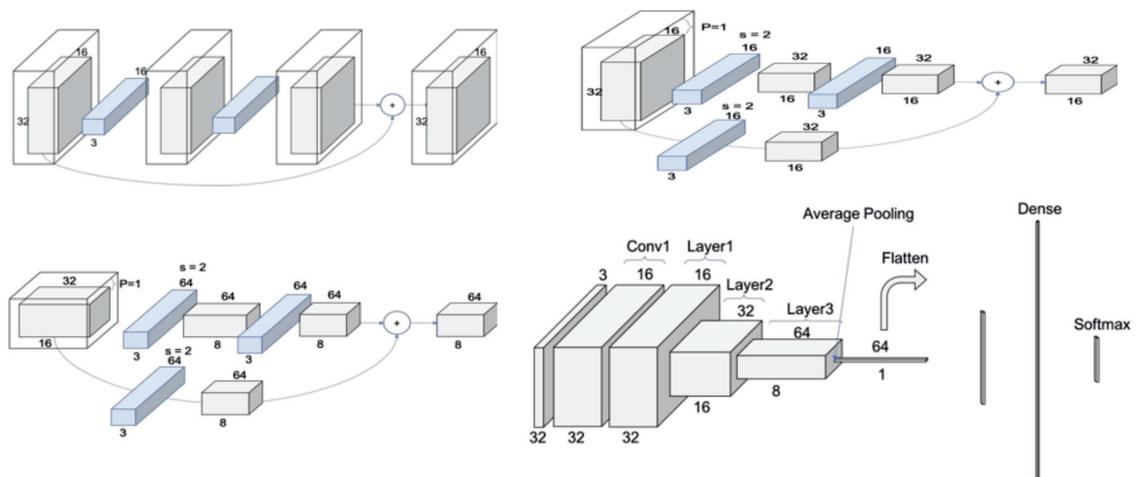


Рис. 2. Модификация ResNet

Структура сети ResNet для набора данных CIFAR-10 состоит из трех ResNet-слоев – здесь слои свертки и пулинга объединены в блоки, причем каждый блок обнаруживает схожее поведение. Слои выполняют свертку 3x3 с фиксированной размерностью карты признаков, минуя входные данные через каждые две свертки. Кроме того, параметры ширины и высоты фильтра свертки, а также каждой из карт признаков остаются постоянными в течение всего слоя. Уменьшение объема данных достигается за счет использования свертки.

В результате проведения экспериментов были получены результаты, показанные в табл. 1. Результаты демонстрируют, что есть небольшое изменение в точности в ResNet20, а также в CapsuleNet, но даже небольшой процент может иметь значение. С другой стороны, цветовое пространство LUV является неплохой альтернативой – оно показывает улучшение на 0,92% по сравнению с RGB в ResNet20 и 0,39% в CapsuleNet.

Если взглянуть на результаты точности распознавания по классам моделей CNN ResNet20 и CapsuleNet на тестовом наборе различных цветовых пространств в табл. 2, 3 и 4, можно заметить, что определенное цветовое пространство лучше подходит для конкретного класса конкретной модели, но эта особенность не является постоянной, поскольку ResNet20 меняется на CapsuleNet, или новая модель формируется путем аугментации данных со значительным изменением точности при переходе от одного цветового пространства к другому. Например, для класса корабля (ship) в ResNet20 без аугментации данных самая высокая точность 91,10% получается при использовании цветового пространства LAB; для ResNet20 с аугментацией самая высокая точность 92,50% получается с использованием цветового пространства YUV; для CapsuleNet с аугментацией данных самая высокая точность 91,50% получается с использованием цветового пространства RGB.

Таблица 1

Сравнение точности распознавания на валидационной выборке для разных цветовых пространств набора CIFAR-10 с ResNet20 и CapsuleNet

Цветовая модель	ResNet20 без аугментации, %	ResNet20 с аугментацией, %	CapsuleNet с аугментацией, %
RGB	74,76	85,02	83,15
HSL	73,48	83,73	81,65
HSV	75,12	84,81	82,56
LUV	75,59	85,94	83,54
YUV	75,96	85,88	83,31
LAB	76,52	85,66	82,94

Таблица 2

Сравнение точности по каждому классу набора CIFAR-10 с ResNet20 в различных цветовых пространствах (без аугментации данных)

Имя класса	RGB, %	HSL, %	HSV, %	LUV, %	YUV, %	LAB, %
airplane	78,70	72,20	80,90	77,30	75,40	76,60
automobile	90,90	84,00	85,50	86,90	78,60	90,00
bird	65,40	63,30	49,80	82,10	74,00	70,20
cat	36,80	69,90	64,70	47,20	54,30	57,10
deer	66,20	74,80	77,00	78,20	81,30	64,60
dog	79,40	59,80	68,30	67,40	66,70	63,60
frog	83,20	74,00	86,60	73,90	83,50	84,20
horse	72,30	66,40	68,40	81,30	74,80	74,60
ship	89,00	83,60	86,20	87,90	90,50	91,10
truck	85,70	86,80	83,80	73,70	80,50	90,20

Таблица 3

Сравнение точности по каждому классу набора CIFAR-10 с ResNet20 в различных цветовых пространствах (с аугментацией данных)

Имя класса	RGB,%	HSL,%	HSV,%	LUV,%	YUV,%	LAB,%
airplane	83,10	92,70	91,60	89,40	89,40	87,50
automobile	95,00	88,90	96,20	87,20	97,80	78,50
bird	83,60	78,30	71,00	73,30	80,20	81,30
cat	65,10	78,40	67,90	75,60	77,80	76,70
deer	91,00	83,70	81,20	93,70	84,90	90,70
dog	74,00	66,80	79,20	78,50	65,40	82,90
frog	90,80	88,40	89,00	88,50	89,50	91,20
horse	87,20	89,60	93,80	88,10	94,80	79,50
ship	84,90	78,70	85,10	90,90	92,50	91,30
truck	95,50	91,80	93,10	94,20	86,50	97,00

Таблица 4

Сравнение точности по каждому классу набора CIFAR-10 с CapsuleNet в различных цветовых пространствах (с аугментацией данных)

Имя класса	RGB,%	HSL,%	HSV,%	LUV,%	YUV,%	LAB,%
airplane	86,40	84,80	83,30	81,00	81,90	86,40
automobile	90,42	92,50	90,30	92,50	94,20	89,50
bird	96,90	70,90	74,30	77,00	78,00	70,80
cat	67,40	61,70	68,50	71,20	64,40	68,00
deer	79,40	80,00	80,30	84,00	81,30	82,20
dog	70,20	81,90	71,90	75,10	77,10	71,50
frog	93,10	88,20	89,70	90,40	90,90	90,20
horse	84,90	81,80	87,00	86,00	86,30	87,90
ship	91,50	84,70	90,40	88,00	91,20	89,00
truck	87,50	90,00	89,90	90,20	87,80	93,90

При анализе точности классификации изображений набора данных CIFAR-10 для различных цветовых пространств, обученных с помощью ResNet без аугментации данных, можно заметить, что все модели имеют одинаковое поведение со склонностью к переобучению. В то же время при анализе зависимости величины ошибки от количества эпох обучения модели оказывается, что начиная с десятой эпохи потери все еще падают, но потери на обучающей выборке растут, что является явным признаком переобучения.

Для ResNet20 с аугментацией данных модели менее переобучены, при этом точность на тестовой выборке резко возрастает.

С другой стороны, можно отметить, что CapsuleNet с аугментацией хорошо справляется с задачей и точность на тестовой выборке плавно растет.

Заключение

Проведенный эксперимент показал, что перспективным направлением является использование моделей, которые обучались на наборе данных в RGB, но вместе с тем также способны принимать на вход и классифицировать аналогичное изображение в различных цветовых пространствах с соответствующей структурой данных, а затем переучивать самих себя для того, чтобы получить лучшие результаты распознавания.

Будущие исследования могут заключаться в том, что вместо того, чтобы преобразовывать изображения из цветового пространства sRGB в другое цветовое пространство, можно подавать на вход модели изображения в желаемом цветовом пространстве и использовать соответствующий

ющую структуру для хранения данных, чтобы предотвратить потерю информации в процессе преобразования из одного цветового пространства в другое. Это позволит существенно улучшить производительность используемой модели глубокого обучения, но при этом придется также столкнуться с проблемой доступности размеченного набора данных для проведения эксперимента, поскольку большая часть наборов данных с изображениями находится в RGB-пространстве.

Список литературы

1. Андреас М. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. М.: Альфа-книга, 2017. 487 с.
2. Trains a ResNet on the CIFAR-10 dataset. [Электронный ресурс]. URL: https://keras.io/examples/cifar10_resnet (дата обращения: 01.08.2020).
3. Train a simple CNN-Capsule Network on the CIFAR10. [Электронный ресурс]. URL: https://keras.io/examples/cifar10_cnn_capsule (дата обращения: 01.08.2020).
4. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер, 2018. 400 с.
5. Keras: The Python Deep Learning library. [Электронный ресурс]. URL: <https://keras.io> (дата обращения: 01.08.2020).
6. Фомин Я.А. Распознавание образов: теория и применения. М.: ФАЗИС, 2012. 429 с.

УДК 621

РАЗРАБОТКА ГЛАВНОГО РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА (ГРМ) КРИВОШИПНОГО ПРЕССА

Джомартов А.А., Тулешов А.К.

Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, Алматы, e-mail: legsert@mail.ru

Повышение точности штамповки является одной из важных задач в проектировании кривошипных прессов. Точность штамповки зависит от перекоса ползуна вследствие воздействия эксцентричной нагрузки. Величина перекоса ползуна напрямую зависит от структуры ГРМ кривошипного пресса. Перекос ползуна при эксцентричном приложении нагрузки меньше у кривошипного пресса, ГРМ которого содержит два шатуна, благодаря лучшему распределению нагрузок на направляющие по сравнению с кривошипным прессом ГРМ с одним шатуном. Для выбора структурной схемы ГРМ кривошипного пресса с двумя шатунами и одним кривошипом предлагается использовать плоские рычажные механизмы высоких классов. Использование рычажных механизмов высоких классов в ГРМ кривошипного пресса повышает точность штамповки за счет жесткости самой конструкции, увеличивает номинальное усилие за счет распределения сил по контуру механизма. В работе был синтезирован рычажный механизм IV класса для разработки нового ГРМ кривошипного пресса с двумя шатунами и одним кривошипом. В программном обеспечении Autodesk Inventor разработана 3D-модель кривошипного пресса на основе механизма 4-го класса. Изготовлен экспериментальный образец кривошипного пресса и проведены его испытания. Результаты экспериментальных исследований определили уменьшение реакций в направляющих ползуна при нецентральной нагрузочной силе.

Ключевые слова: кривошипный пресс, главный рабочий механизм (ГРМ), рычажный механизм IV класса, шатун, ползун

THE CHOICE OF THE STRUCTURE OF THE MAIN WORKING MECHANISM (MWM) OF THE CRANK PRESS

Jomartov A.A., Tuleshov A.K.

*Institute Mechanics and Mechanical Engineering named after U.A. Dzholdasbekov,
Almaty, e-mail: legsert@mail.ru*

Improving the stamping accuracy of crank presses is one of the important tasks in the design of presses. The stamping accuracy depends on the tilt of the slide due to the action of an eccentric load. The amount of tilt of the slide directly depends on the structural scheme of the main working mechanism (MWM) of the crank press. The tilt of the slide with an eccentric application of the load is less for the MWM crank press, which contains two connecting rods, due to the better load distribution on the guides compared to the MWM crank press with one connecting rod. To select a structural scheme of a crank press with two connecting rods and one crank, it is proposed to use high linkages. Using flat linkages of high classes in the MWM of a crank press increases the accuracy of stamping due to the rigidity of the structure itself, increases the nominal force due to the distribution of forces along the contour of the mechanism. In the work, a flat linkage of class IV was synthesized to develop a new MWM of a crank press with two connecting rods and one crank. In software Autodesk Inventor developed a 3-D model of a crank press based on a class 4 mechanism. An experimental sample of a crank press was made and tested. The results of experimental tests determined a decrease in the reactions in the slide guides at an off-center load force.

Keywords: crank press, main working mechanism (MWM), linkage of class IV, connecting rod, slide

Точность штамповки кривошипного пресса является одним из важных параметров в машиностроении. На точность штамповки кривошипного пресса влияет нецентральное приложение нагрузочной силы. Нецентральное приложение нагрузочной силы при штамповке вызывает перекося ползуна, что и отражается на общей точности изготовления детали. Кроме того, точность штамповки кривошипного пресса зависит от общей жесткости конструкции и его штампа [1]. Перекос ползуна в процессе движения происходит из-за наличия зазоров в его направляющих, что влияет на качество штамповки. Величина перекося зависит от структуры ГРМ пресса и условий нагружения ползуна. От точности движе-

ния ползуна в направляющих зависит точность отштампованных изделий. Поэтому очень важно уменьшение перекося ползуна в направляющих.

В работе [1] показано, что при нецентральном приложении нагрузки перекося ползуна меньше у двухшатунного кривошипного пресса (рис. 1, а) по сравнению с кривошипным прессом с одним шатуном (рис. 1, б) [1].

Обычно сила штамповки совпадает с геометрическим центром ползуна пресса. Однако из-за формы изделия или из-за способа формирования во многих случаях трудно сделать центр штампа совпадающим с центром нагрузки. В штампах для постепенного формирования, можно предположить, что все цен-

тры штампов смещены от центра нагрузки. При установке такого штампа в прессе будет возникать эксцентрическая нагрузка, поскольку центр штампования и центр нагрузки смещены относительно друг друга.

В кривошипном прессе ГРМ с одним шатуном ползун при смещении нагрузки имеет перекося, как показано на рис. 2, а, в этом случае нарушается параллельность между ползуном и направляющими. Этот перекося пропорционален величине нагрузки. В работе [1] предлагается для уменьшения перекося ползуна повысить мощность двигателя кривошипного пресса и устранить эксцентриситет нагрузки при штамповке.

На рис. 2 показано, что в двухшатунном кривошипном прессе (рис. 2, б) влияние от нецентральной нагрузки меньше по сравнению с одношатунным прессом.

Для штампования изделий, требующих повышенной точности, используются ГРМ пресса с двумя шатунами, в связи с хорошей переносимостью эксцентрической нагрузки.

Расчет допустимой эксцентрической нагрузки ГРМ кривошипного пресса с двумя шатунами определяется по формуле [2]

$$P_a = \frac{1}{2} PK \frac{L}{e + \frac{L}{2}},$$

где P – номинальная нагрузка [Н], P_a – допустимая эксцентрическая нагрузка [Н], K – коэффициент (табл. 1), e – эксцентриситет нагрузки (мм), L – расстояние между шатунами (мм), здесь выполняется условие $P_a \leq P$.

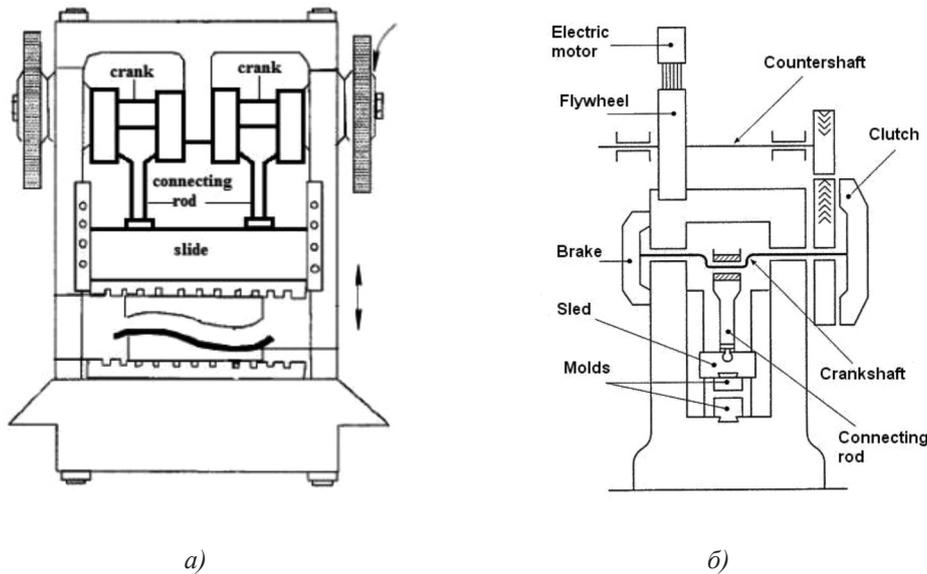


Рис. 1. Кинематические схемы ГРМ кривошипных прессов: а) с двумя шатунами, б) с одним шатуном

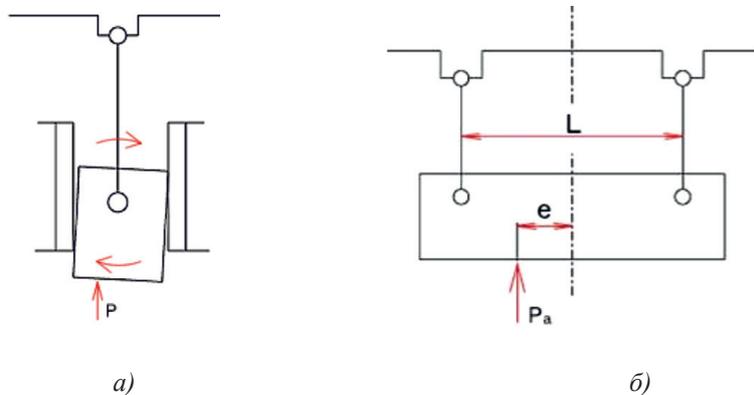


Рис. 2. Схемы ГРМ кривошипных прессов: (а) одношатунный, (б) двухшатунный

Таблица 1
Значения коэффициента K

Эксцентриситет нагрузки e , мм	Коэффициент K
0	1
30	0.91
50	0.86
60	0.83
75	0.80
90	0.77
100	0.75

Принимая суммарную упругую деформацию прессы с ГРМ с одним шатуном за 100%, в работе [2] получены данные о деформации прессы с ГРМ с двумя шатунами (табл. 2), при одинаковой номинальной нагрузке.

Таблица 2
Упругие деформации элементов конструкций кривошипных прессов

Элементы конструкции	Упругая деформация, %	
	Пресс с ГРМ с одним шатуном	Пресс с ГРМ с двумя шатунами
Станина	33	31
Ползун и шатуны(ы)	30	21
Главный вал и опоры	37	33
Суммарная деформация	100	85

Двухшатунные ГРМ кривошипных прессов более предпочтительны по сравнению с одношатунными ГРМ кривошипных прессов вследствие уменьшения нагрузок на направляющие ползуна. Кривошипные прессы с двухшатунными ГРМ имеют следующие недостатки: увеличение сложности конструкции, большие габариты, большой вес вследствие длинного кривошипного вала и зубчатых передач.

Разработка ГРМ кривошипного прессы с двумя шатунами и одним типовым кривошипом является целью исследования данной работы. Для выбора структурной схемы ГРМ кривошипного прессы с двумя шатунами и одним кривошипом используем рычажные механизмы высоких классов.

Материалы и методы исследования

Рычажные механизмы IV класса для ГРМ кривошипного прессы. Л.В. Ассур показал пути получения новых кинематических цепей с подвижными замкнутыми контура-

ми, получивших название «группа Ассур высоких классов». Присоединив один или несколько внешних шарниров группы Ассур высоких классов к ведущему звену, а все остальные внешние шарниры к стойке, получим рычажный механизм высокого класса с одной степенью свободы [3-5]. В работе [6] получено 7 различных рычажных механизмов IV класса с ведущим звеном 1 (рис. 3), структурные формулы для которых имеют вид:

$$l(1) \rightarrow IY(2,3,4,5), l(1) \rightarrow IY(2,3,4,5,6,7),$$

$$l(1) \rightarrow IY(2,3,4,5,6,7,8,9).$$

На основе полученных рычажных механизмов IV класса (рис. 3) можно спроектировать новый ГРМ кривошипных прессов. Использование рычажных механизмов IV класса, благодаря особенностям их структурного строения, позволяет значительно расширить функциональные возможности ГРМ кривошипных прессов.

Согласно условию проектирования можно выбрать необходимую схему рычажного механизма IV класса (рис. 3) для проектирования нового ГРМ кривошипного прессы. Для нас представляет интерес схема рычажного механизма IV класса, изображенного на рис. 3, а. Выберем схему рычажного механизма IV класса (рис. 3, а) для проектирования ГРМ кривошипного прессы. Выбор схемы рычажного механизма IV класса (рис. 3, а) хорошо подходит для проектирования двухшатунного ГРМ кривошипного прессы.

В работе [7] синтезирован рычажный механизм IV класса для нового двухшатунного ГРМ кривошипного прессы с одним кривошипом.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработана кинематическая схема нового двухшатунного ГРМ кривошипного прессы с использованием рычажного механизма IV класса, изображенная на рис. 5.

На рис. 5 введены следующие обозначения: 1 – кривошип; 2 – трехпарное звено с вращательными кинематическими параметрами В, С и D; 3 и 4 – шатуны; 5 – ползун с двумя вращательными кинематическими параметрами Е и F; 6 – деталь. При вращении кривошипа 1 движение через трехпарное звено 2 передается шатунам 3 и 4, которые приводят в движение ползун 5. Далее ползун 5 штамповывает деталь 6. При штамповке ползуна 5 детали 6 шатуны 3 и 4 находятся параллельно друг другу. Параллельность шатунов 3 и 4 обеспечивает хорошее распределение нагрузки при штамповании.

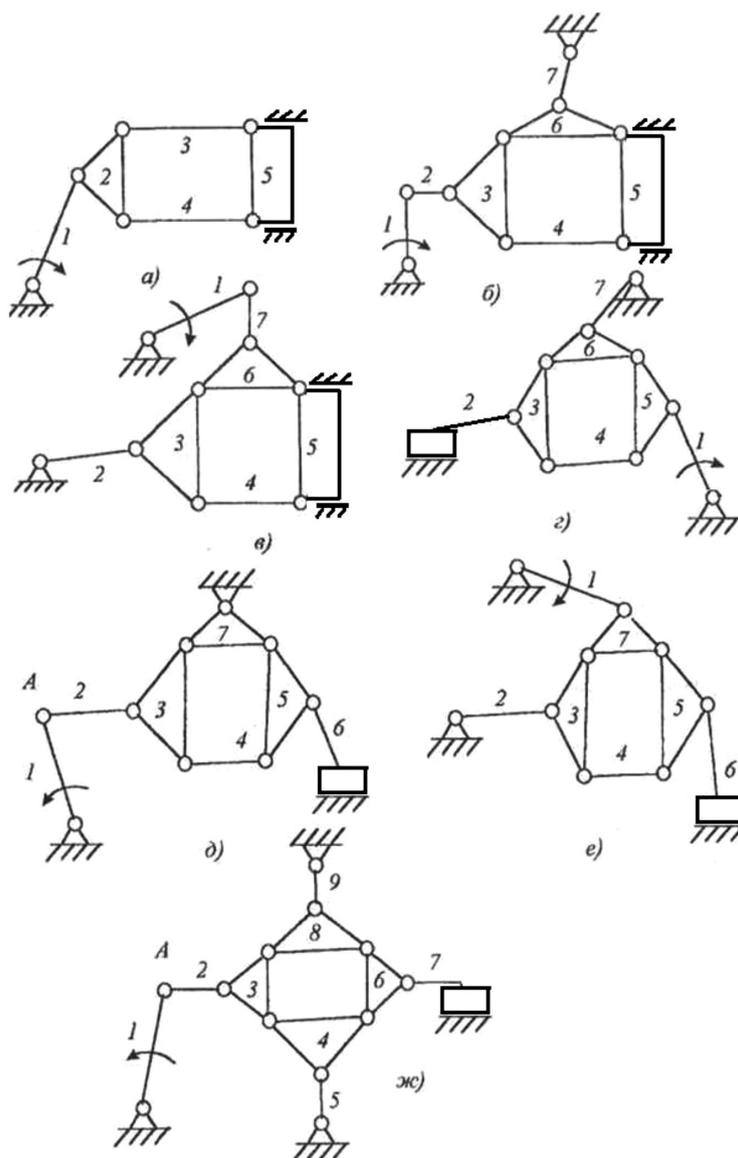


Рис. 3. Рычажные механизмы IV класса

Для изготовления экспериментального образца кривошипного пресса с двухшатунным ГРМ (рис. 6, б) разработана ее 3D-модель в среде Autodesk Inventor (рис. 6, а).

Результаты тестовых испытаний экспериментального образца кривошипного пресса с двухшатунным ГРМ показали уменьшение реакций в направляющих ползуна при нецентральной нагрузочной силе.

Выводы

Двухшатунные ГРМ кривошипных прессов более предпочтительны по сравнению с одношатунными ГРМ кривошипных прессов вследствие уменьшения нагрузок

на направляющие ползуна. Кривошипные прессы с двухшатунными ГРМ имеют следующие недостатки: увеличение сложности конструкции, большие габариты, большой вес из-за наличия длинного кривошипного вала и зубчатых передач.

Структурная схема двухшатунного ГРМ кривошипного пресса с одним кривошипом строилась на основе рычажных механизмов высоких классов. Использование рычажных механизмов высоких классов в ГРМ кривошипного пресса повышает точность штамповки за счет жесткости самой конструкции, увеличивает номинальное усилие за счет распределения сил по контуру рычажного механизма.

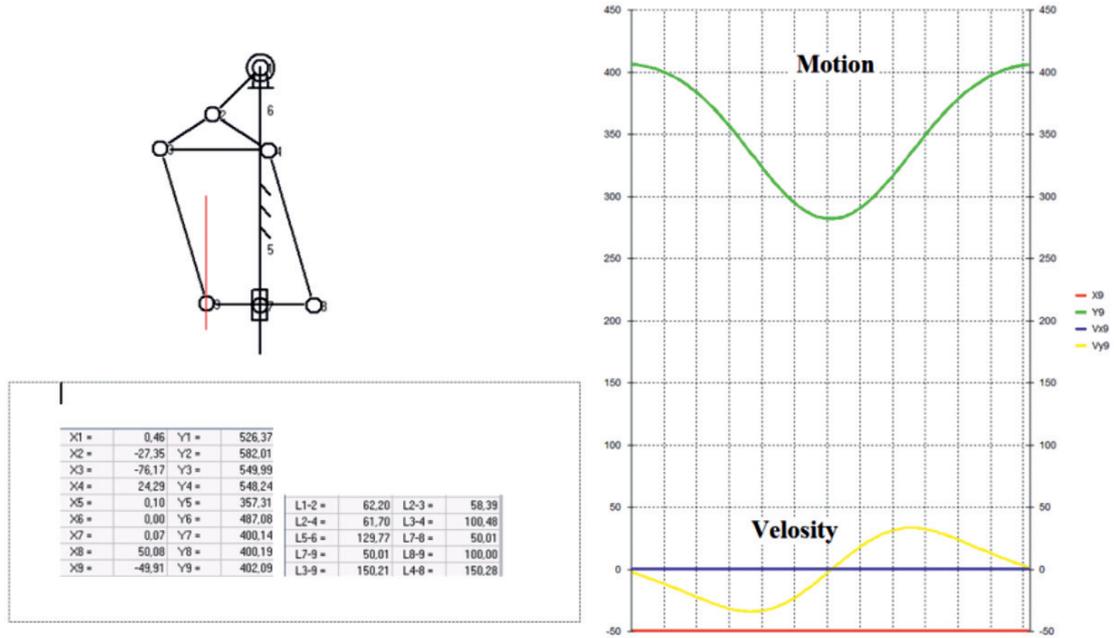


Рис. 4. Рычажный механизм IV класса

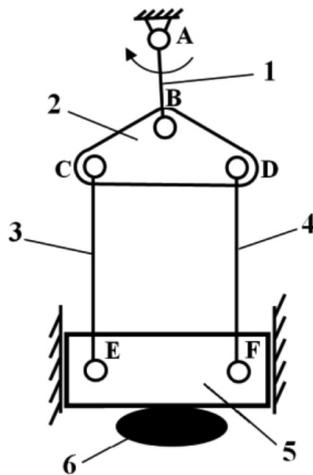


Рис. 5. Схема нового двухштанного ГРМ кривошипного пресса



а)



б)

Рис. 6: а) 3D-модель кривошипного пресса с двухштантным ГРМ в среде Autodesk Inventor; б) экспериментальный образец кривошипного пресса с двухштантным ГРМ

Спроектирован и изготовлен экспериментальный образец кривошипного пресса с двухштантным ГРМ. Проведенные испытания экспериментального образца кривошипного пресса с двухштантным ГРМ

показали уменьшение реакций в направляющих ползуна при нецентральной нагрузочной силе.

Важным результатом работы является обоснование использования рычажных ме-

ханизмов высоких классов для проектирования новых ГРМ кривошипных прессов.

Список литературы

1. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 480 с.

2. MISUMI technical tutorial. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.misumi-techcentral.com/tt/en/press> (дата обращения: 15.07.2020).

3. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2020. 432 с.

4. Чусовитин Н.А., Гилета Ю.В., Ванаг Ю.В. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2019. 175 с.

5. Крохмаль Н.Н. Критический анализ определения понятия группы Ассур в теории механизмов и машин // Вестник КГУ. Серия технические науки. 2016. № 3(11). С. 37–39.

6. Jomartov A., Tuleshov A., Kuvatova M. Designing of a Crank press on the Basis of High Class Planar Linkages. Mechanisms and Machine Science. 2019. V. 73. P. 3027–3030.

7. Jomartov A.A., Tuleshov A.K. Vector method for kinetostatic analysis of planar linkages. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2018. V. 40. P. 40–48.

СТАТЬИ

УДК 519.6

**УПРАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОСАДКОЙ ВОЗВРАЩАЕМЫХ
МОДУЛЕЙ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА
ПРЕДЛОЖЕННОГО АЛГОРИТМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ****Мозжорина Т.Ю., Осипов В.В.***Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Москва, e-mail: Mozzhorina@mail.ru*

В данной работе рассматривается один из предлагаемых алгоритмов обратной связи при вертикальной посадке возвращаемой первой ступени космического аппарата для ее повторного использования в дальнейшем. Сделана попытка осуществить модификацию предложенного А.М. Летовым алгоритма синтеза оптимального управления, в котором предлагается использовать для поправки тяги не двигатели коррекции, а основной двигатель силовой установки космического аппарата. Проводится численный эксперимент методом Монте-Карло для оценки работоспособности указанного алгоритма. Под мягкой посадкой понимается приземление с нулевой или не превышающей нескольких метров в секунду скоростью. Исследованию подлежит последний участок вертикального приземления. Оптимальным программным управлением в данной постановке задачи с точки зрения минимальных затрат топлива является свободное падение, затем включение двигателя на полную мощность до момента приземления. Предполагается возможное случайное отклонение таких параметров от расчетных значений, как скорость и масса возвращаемого модуля космического аппарата на высоте 2000 м, удельный импульс, а также плотность воздуха и коэффициент аэродинамического сопротивления. Предполагается, что распределены эти случайные величины по нормальному закону, независимы и их отклонения от расчетных значений не превышают 1% по импульсу двигателя и 5% по всем остальным переменным. Скорость приземления при этом – случайная величина, для которой вычисляются параметры распределения. Проводится анализ полученных результатов расчета.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, задача о мягком приземлении, вероятностный анализ, возвращаемая ступень космического аппарата, оптимальное управление, управление с обратной связью

**VERTICAL LANDING CONTROL OF RETURNED MODULES AND PROBABILITY
ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE PROPOSED FEEDBACK ALGORITHM****Mozzhorina T.Yu., Osipov V.V.***Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: Mozzhorina@mail.ru*

In this paper, we consider one of the proposed feedback algorithms for the vertical landing of the returned first stage of the spacecraft for its reuse in the future. An attempt is made to modify the optimal control synthesis algorithm proposed by Letov a.m., in which it is proposed to use the main engine of the spacecraft's power plant rather than the correction engines for the thrust correction. A numerical experiment using the Monte Carlo method is performed to evaluate the performance of this algorithm. A soft landing is a landing with a speed of zero or no more than a few meters per second. The last section of the vertical landing is subject to investigation. The optimal program control in this problem statement in terms of minimum fuel consumption is free fall, then turning the engine on at full power until the moment of landing. It is assumed that such parameters as the speed and mass of the spacecraft's return module at an altitude of 2000 m, the specific impulse, as well as the air density and the coefficient of aerodynamic drag can be randomly deviated from the calculated values. It is assumed that these random variables are distributed according to the normal law, are independent, and their deviations from the calculated values do not exceed 1% for the engine pulse and 5% for all other variables. The landing speed is a random value for which the distribution parameters are calculated. The results of the calculation are analyzed.

Keywords: Monte Carlo method, soft landing problem, probabilistic analysis, spacecraft return stage, optimal control, feedback control

Рассматривается мягкая посадка отработавшей первой ступени космического аппарата (КА). (Мягкая посадка в идеале – приземление с нулевой скоростью, в реальности мягкой посадкой считается для пассажирского самолета касание земли при вертикальной скорости снижения не превышающей 2 м/с, для КА – не превышающей 6 м/с.) Такие зарубежные фирмы, как Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX) и Blue Origin, реализовали проекты, осуществляющие мягкую посадку

первых ступеней, и даже использовали их вторично при последующих запусках [1, 2].

Оптимальное управление (ОУ) на последнем вертикальном участке приземления по принципу максимума Понтрягина представляет собой вертикальное свободное падение вначале и затем торможение при максимально допустимом (с точки зрения прочности конструкции) значении тяги двигателей. В [3] были проведены расчеты для первой ступени, аналогичной первой ступени Falcon9, позволившие получить

оптимальное программное управление при принятом условии одного работающего двигателя ЖРД из силовой установки первой ступени. Математическая модель посадки с ОУ (при использовании принципа максимума Понтрягина) представляет собой краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которая была решена методом пристрелки. Метод пристрелки дает наиболее точные результаты при численном решении краевых задач [4]. К сожалению, существуют определенные трудности в реализации метода пристрелки, в силу чего метод редко используют при решении инженерных задач. Но при определенном опыте работы с методом Ньютона вполне возможно его реализовать даже для задач ОУ с переключением [4, 5].

Особенность реализации подобного управления состоит в том, что конечное значение скорости в момент приземления очень сильно зависит от возможных случайных отклонений от расчетных значений таких параметров, как плотность атмосферного воздуха, коэффициент аэродинамического сопротивления, удельная тяга двигателя, скорость и масса ступени в начальный момент (задается значением начальной высоты вертикального участка приземления). Возможность реализации мягкой посадки с ОУ без обратной связи при возможном случайном отклонении указанных выше параметров (случайные величины (СВ) предполагаются независимыми и подчиняются нормальному закону с небольшими отклонениями от расчетных значений, принятых в [3]) рассмотрена в [6]. Вероятность осуществления мягкой посадки с программным ОУ без обратной связи чрезвычайно мала. Алгоритм обратной связи при мягком прилунении предложен в [7]. Проблема мягкой посадки КА рассматривается и в таких работах, как [8–11].

Постановка задачи и математическое моделирование процесса посадки и алгоритма обратной связи

Разработка синтеза ОУ (получения закона поправки на управление при отклонении СВ – алгоритма обратной связи) является темой настоящей работы. В [7] А.М. Летовым была предложена идея использования поправки на тягу основного двигателя в качестве компенсации возможных случайных отклонений при мягком прилунении. Система уравнений движения линеаризовалась и приобретала форму уравнений возмущенного движения. Алгоритм получения обратной связи предлагался следующий:

При функционале вида $J = \int_0^T u dt \rightarrow \min$ исходная система состояния:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = -V \\ \frac{dV}{dt} = -\frac{\beta u}{m} + g_{\text{л}}, \\ \frac{dm}{dt} = -G_{\text{т}} = -u \end{cases} \quad (1)$$

где h – расстояние от космического аппарата до поверхности Луны, V – скорость космического аппарата (ось скорости направлена вниз), m – масса космического аппарата, $G_{\text{т}} = u$ – расход топлива (управление), T – конечный момент времени, $g_{\text{л}} = 1,62$ – ускорение свободного падения на Луне, $\beta \cdot u = P$ – тяга двигателя, коэффициент β пропорционален скорости истечения газа из сопла двигателя (импульс ракетного двигателя).

Система возмущенного движения принимает вид

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = -y_2 \\ \frac{dy_2}{dt} = \frac{\beta u}{m^2} y_3 - \frac{\beta}{m} \Delta u \\ \frac{dy_3}{dt} = -\Delta u \end{cases} \quad (2)$$

где $y_1 = \Delta h$, $y_2 = \Delta V$, $y_3 = \Delta m$, Δu – поправка на управление.

Функционал выбирался вида

$$J = \alpha_1 y_1(T)^2 + \alpha_2 y_2(T)^2 + \alpha_3 y_3(T)^2 \rightarrow \min,$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 > 0$ – весовые коэффициенты. Предлагалось решать системы (1) и (2) последовательно. При этом начальные значения возмущений не предполагались слишком большими и должны были удовлетворять условию $\gamma_1 y_1(0)^2 + \gamma_2 y_2(0)^2 + \gamma_3 y_3(0)^2 \leq r^2$, $r \in \mathfrak{R}$, $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – весовые коэффициенты.

Несколько модифицированный по отношению к вышеуказанному алгоритм был применен к задаче мягкой посадки приземления. Исходная система уравнений движения:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = -V \\ \frac{dV}{dt} = -\frac{\beta u + X_{\text{аэп}}}{m} + g_{\text{л}}, \\ \frac{dm}{dt} = -G_{\text{т}} = -u \end{cases} \quad (3)$$

Система уравнений возмущенного движения:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = -y_2 \\ \frac{dy_2}{dt} = -\frac{c_x \rho_h S \cdot V}{m} y_2 + \frac{c_x \rho_h S \cdot V^2}{2m^2} y_3 - \frac{\beta}{m} \Delta u, \\ \frac{dy_3}{dt} = -\Delta u \end{cases} \quad (4)$$

где $y_1 = \Delta h$; $y_2 = \Delta V$; $y_3 = \Delta m$ – возмущения независимых переменных, связанных со случайными факторами, $X_{\text{аэп}} = \frac{c_x \rho_h S \cdot V^2}{2}$ – сила аэродинамического сопротивления, c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления первой ступени ракеты, ρ_h – плотность воздуха на текущей высоте, S – площадь мидела первой ступени.

Предполагая, что масса ракеты в начале последнего вертикального участка изменяется незначительно, и учитывая малость коэффициента при y_3 во втором уравнении, оставим только первые два ДУ в системе возмущенного движения и будем считать, что масса приближенно остается постоянной. Обозначим коэффициенты в системе уравнений возмущенного движения: $a = -\frac{c_x \rho_h S \cdot V}{m}$, $b = -\frac{\beta}{m}$.

Применим к задаче отыскания обратной связи метод аналитического конструирования оптимального регулятора. Хотя применение данного подхода к динамическому процессу, протекающему достаточно малое время, не совсем корректно, попробуем реализовать алгоритм.

Задачу синтеза оптимального регулятора сформулируем следующим образом: $J = \int_0^{+\infty} (y_1^2 + y_2^2 + \Delta u^2) dt \rightarrow \min$ при линеаризованной и упрощенной системе возмущенного движения:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = -y_2 \\ \frac{dy_2}{dt} = ay_2 + b\Delta u \end{cases} \quad (5)$$

при $y_1(0) = y_{10}$; $y_2(0) = y_{20}$, которые представляют собой отклонения параметров, замеряемых в процессе приземления, от расчетных значений оптимального процесса, полученных при решении системы (3) невозмущенного движения.

Матричное уравнение для отыскания синтезирующей функции $\Delta u^* = -\frac{1}{q} B^T P y$, полученное из уравнения Беллмана, имеет вид $N + A^T P + P^T A - \frac{1}{q} (P B B^T P) = 0$. Постановка задачи в общем виде: $J(y, \Delta u) = \int_0^{\infty} (y^T N y + q(\Delta u)^2) dt \rightarrow \min$, $y'(t) = A \cdot y + B \cdot \Delta u$. В нашем

случае $A = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & a \end{pmatrix}$; $B = \begin{pmatrix} 0 \\ b \end{pmatrix}$; $N = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$; $q = 1$.

Отсюда имеем матричное алгебраическое уравнение с постоянными коэффициентами:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & a \end{pmatrix} P + P \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & a \end{pmatrix} - P \begin{pmatrix} 0 \\ b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & b \end{pmatrix} P = -\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{ где } P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix} - \text{симметрическая}$$

положительно определенная матрица.

Расписав матричное уравнение покоординатно, получим систему алгебраических уравнений относительно неизвестных элементов матрицы P .

$$\begin{cases} -p_{12}^2 b^2 = -1 \\ -p_{11} + ap_{12} - b^2 p_{12} p_{22} = 0 \\ -2p_{12} + 2ap_{22} - b^2 p_{22}^2 = -1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} p_{11} = p_{12}(a - b^2 p_{22}) \\ p_{12} = \frac{1}{b} \\ p_{21} = \frac{1}{b} \\ p_{22} = \frac{a + \sqrt{a^2 - b^2(-1 + 2/b)}}{b^2} \end{cases}.$$

Подставляя численные значения коэффициентов $a = -\frac{c_x \rho_h S \cdot V}{m}$, $b = -\frac{\beta}{m}$ в каждый момент измерения скорости и высоты, получим синтезирующую функцию:

$$\Delta u^* = -bp_{21}y_1 - bp_{22}y_2. \quad (6)$$

Алгоритм вычислений имеет следующий вид.

Имеем зависимости $h^*(t)$, $V^*(t)$, $u^*(t)$ – в оптимальном процессе без обратной связи, полученные в [3]. Предположим, что в реальном процессе рассматриваемые СВ (плотность атмосферного воздуха, коэффициент аэродинамического сопротивления, удельная тяга двигателя, скорость и масса ступени в начальный момент) отклоняются от расчетных значений. Тогда при достижении высоты включения двигателя из [3] происходит включение двигателя в реальном процессе. Если при заданной высоте скорость превышает оптимальное значение скорости включения двигателя, то принимаем за высоту включения значение $h_{\text{вкл}} + \frac{1,1 \cdot V(V - V^*(t))m^*(t)}{(u^*(t) + 20) \cdot \beta}$, где второе слагаемое есть поправка на высоту, полученная из приближенного равенства импульса силы тяги разности импульса скорости в реальном движении и оптимальном. $\Delta h_{\text{вкл}} = V(t) \cdot \frac{m(t)V(t) - m^*(t)V^*(t)}{P}$, где

$$\Delta t = \frac{m(t)V(t) - m^*(t)V^*(t)}{P} \approx \frac{1,1(V(t) - V^*(t))m^*(t)}{P}. \text{ При этом предполагается, что двига-}$$

тель может дросселироваться до 60%, допустимый расход топлива лежит в диапазоне 195...325 кг/с. Зададимся временем такта измерения высоты и скорости приземления равным 0,04 с (в расчетах это время будет равно шагу интегрирования численного метода решения ОДУ). На каждом шаге интегрирования системы (3) вычисляем отклонения реальных параметров от оптимальных, а также поправку на расход топлива: $y_1 = \Delta h = h(t) - h^*(t)$; $y_2 = \Delta V = V(t) - V^*(t)$; $\Delta u^* = -bp_{21}y_1 - bp_{22}y_2$; $u = u^* + \Delta u^*(t)$.

В момент времени, когда высота или скорость падения равна нулю, происходит отклонение двигателя. Если нулевое значение скорости достигается при $h > 0$, то с этой высоты происходит свободное падение. Методом Монте-Карло проведем многократные вычисления снижения отработавшей ступени, обработаем статистически полученные данные и в результате сможем оценить вероятность мягкой посадки при выбранных законах распределения СВ.

Результаты расчетов

Для расчетов приземления спускаемого аппарата были взяты исходные данные, полученные в [3].

Свободное падение рассчитывалось с высоты 2000 м. Скорость в оптимальном процессе на этой высоте равна 160 м/с.

Значения переменных, соответствующие моменту включения двигателя в оптимальном процессе:

$$h_{\text{вкл}} = 488,0558 \text{ м}; V_{\text{вкл}} = 183,82 \frac{\text{м}}{\text{с}}; u = G_T = 305 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; m = 20 \text{ т}; \beta = 2766 \frac{\text{м}}{\text{с}}; c_x = 0,8.$$

Принималось для метода Монте-Карло, моделирующего случайные отклонения расчетных параметров, что отклонения по массе, скорости, c_x и плотности воздуха не превышают 5%, а по удельному импульсу двигателя 1%. СВ распределены по нормальному закону и независимы. Указанные интервалы составляют диапазон $-4\sigma \dots + 4\sigma$. Количество расчетных экспериментов в методе Монте-Карло – 1000.

В качестве зависимости плотности воздуха от высоты в стандартных условиях была принята следующая аппроксимация, дающая удовлетворительную точность до высоты в 20 км:

$$\rho_h = 1,22235514 - 0,11422776 \cdot \frac{h}{10^3} + 0,00368329 \left(\frac{h}{10^3} \right)^2 - 0,404 \left(\frac{h}{10^3} \right)^3 \cdot 10^{-3}.$$

На рис. 1 представлена фазовая траектория в оптимальном процессе.

На рис. 2 представлены полигоны распределения СВ скорости приземления, по-

строенные по средним значениям интервалов распределения, число которых выбиралось равным 20. Указанные кривые соответствуют статистической плотности вероятности.

На рис. 3 – кривые статистической функции вероятности для СВ скорости приземления.

В таблице представлены характеристики полученных распределений скорости приземления для всех трех расчетных случаев.

На рис. 4 и 5 представлено поведение управления и скорости снижения в зависимости от времени для варианта расчета 2 с максимальными отклонениями значений случайных величин. Варианты А и В – маловероятные случаи, характеризующие наихудшие сочетания из выбранных диапазонов изменения СВ.

Вариант А – отклонение по массе и скорости в начальный момент – 5%, по плотности и c_x +5%, по удельному импульсу двигателя +1% ($V_k = 21,5$ м/с).

Вариант В – отклонение по массе и скорости в начальный момент +5%, по плотности и c_x -5%, по удельному импульсу двигателя -1% ($V_k = 35,7$ м/с).

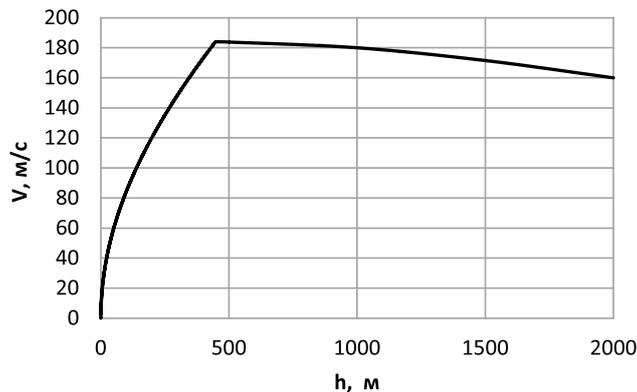


Рис. 1. Зависимость $V^* = f(h^*)$ в оптимальном процессе

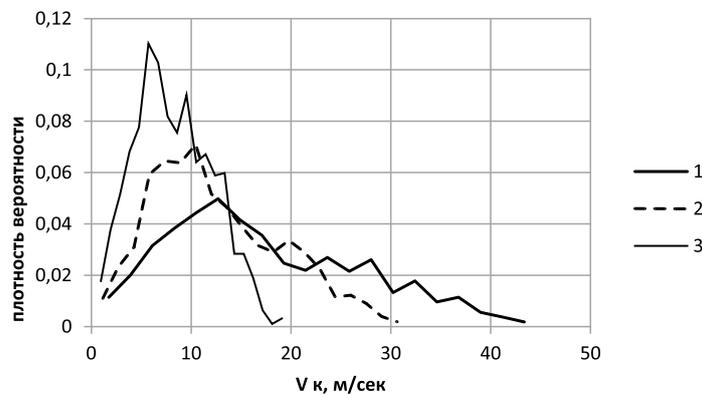


Рис. 2. Полигоны плотности вероятности СВ скорости приземления: 1 – расчет без поправки на управление, 2 – с поправкой на управление по формуле (6), 3 – с поправкой на управление по формуле (6) с отсутствием разброса по массе ступени в начальный момент

Вариант С – расчетный вариант оптимального управления без отклонений параметров ($V_k = 0$ м/с).

Заключение

Анализ результатов расчета показал, что данный подход не обеспечивает достаточно высоких значений вероятности обеспече-

ния мягкой посадки. Упрощение уравнений возмущенного движения некорректно, если принять во внимание возможность отклонения массы возвращаемой ступени. Расчет при детерминированном значении массы также не показал удовлетворительного результата (смотри кривые для случая 3 на рис. 2 и 3).

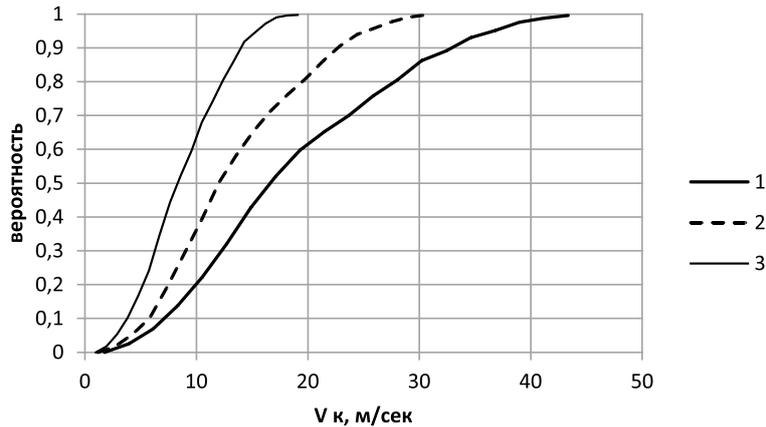


Рис. 3. Статистическая функция распределения для СВ скорости приземления: 1 – расчет без поправки на управление, 2 – с поправкой на управление по формуле (6), 3 – с поправкой на управление по формуле (6) с отсутствием разброса по массе ступени в начальный момент

Параметры распределения скорости приземления для трех рассмотренных случаев

Параметры распределения скорости приземления	$M[Vk]$ Математическое ожидание	$\sigma[Vk]$ Среднеквадратическое отклонение	$As[Vk]$ Коэффициент асимметрии	$Ex[Vk]$ Коэффициент острровершинности
1	17,4698	9,608866	0,551565	-0,52408
2	12,51425	6,494954	0,524414	-0,45485
3	8,214698	3,841363	0,269438	-0,67231

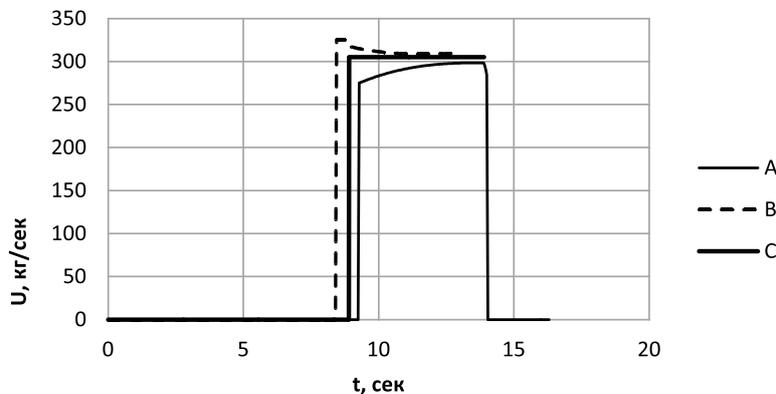


Рис. 4. Управление по времени снижения с высоты 2000 м

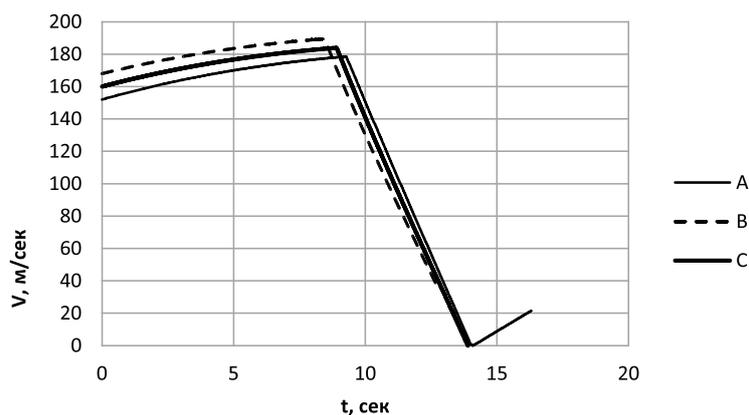


Рис. 5. Изменение скорости по времени снижения

Усложнение системы возмущенного движения и восстановление возможности учета отклонения по массе приведет либо к необходимости аналитического решения системы нелинейных алгебраических уравнений из шести уравнений для отыскания составляющих искомой матрицы P , либо к попытке численного решения этой системы, обеспечивая при этом нахождение единственного решения для положительной определенности указанной матрицы. Изменение функционала с интегрального типа на терминальный потребует решения системы ДУ Рикатти. В любом случае продолжение работы в указанных направлениях сильно увеличивает трудоемкость численного эксперимента. При этом результаты расчета для детерминированного значения массы не позволяют надеяться на получение удовлетворительного результата и в случае проведения указанной работы. Малое время работы двигателя (порядка 4 с) не позволяет воспользоваться преимуществами теории синтеза оптимального регулятора.

Кроме этого, реализация алгоритма, аналогичного предложенному Летовым в [7], показала его существенный недостаток, а именно невозможность вычисления поправки на тягу при увеличенном времени работы двигателя.

Список литературы

1. Официальный сайт компании SpaceX. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spacex.com/falcon9> (дата обращения: 19.08.2020).
2. Официальный сайт компании Blue origin. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.blueorigin.com> (дата обращения: 19.08.2020).
3. Мозжорина Т.Ю., Осипов В.В. Численное решение задачи о мягком приземлении методом пристрелки // Инновационное развитие. 2018. № 8 (25). С. 11–15.
4. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука, 1978. 486 с.
5. Мозжорина Т.Ю. Численное решение задач оптимального управления с переключением методом пристрелки // Математическое моделирование и численные методы. 2017. № 2 (14). С. 94–106.
6. Мозжорина Т.Ю., Осипов В.В. Вероятностный анализ возможности мягкого приземления на последнем вертикальном участке работы двигателя // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 7. С. 136–140.
7. Летов А.М. Математическая теория процессов управления. М.: Наука, 1981. 256 с.
8. Lars Blackmore. Autonomous Precision Landing of Space Rockets. The BRIDGE. 2016. Vol. 46. No. 4. P. 15–20.
9. Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сихарулидзе Ю.Г., Трифонов О.В., Федотов В.П., Ярошевский В.С. Комбинированный алгоритм управления посадкой космического аппарата «Луна-Глоб» // В сборнике: XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. 2015. С. 1395–1398.
10. Жуков Б.И., Лихачев В.Н., Сазонов В.В., Сихарулидзе Ю.Г., Тучин Д.А., Федотов В.П., Ярошевский В.С. Сравнительный анализ алгоритмов управления посадкой на Луну // Космические исследования. 2015. Т. 53. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25344245> (дата обращения: 19.08.2020).
11. Афанасьев В.А., Дегтярев Г.Л., Мещанов А.С., Сиразетдинов Т.К. Разработка и исследование алгоритмов управления вертикальным приземлением посадочных модулей // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2007. № 3. С. 56–59.

УДК 537.8:53.05

О ВИДОИЗМЕНЕНИЯХ ОПЫТА ФАРАДЕЯ С КАЖУЩИМСЯ УМЕНЬШЕНИЕМ ВЕСА ПРОВОДНИКОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В АСПЕКТЕ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ГРАВИТАЦИИ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Ромм Я.Е.

*Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)»,
Таганрог, e-mail: romm@list.ru*

Описан опыт М. Фарадея, в котором подвешенный за середину прямолинейный проводник с постоянным током при подвижном электрическом контакте с ртутью проявлял «кажущееся уменьшение веса». Предложены изменения схемы этого опыта с целью выявить причину явления. Даны описания 12 опытов, выполненных по предложенным схемам. Проводник с изоляцией складывался пополам, по нему пропускался переменный ток, он был подвешен за конец, противоположный подвижному контакту. Эффект «кажущейся потери веса» при этом сохранялся. Подвешенный конец разрезался, к нему подсоединялись два скрепленных соленоидов, по их обмоткам проходил переменный ток в противофазе. В результате эффект усиливался, становился устойчивым, обретал характерное завышение после выключения тока. На каждом соленоиде была двойная обмотка. Если провода в ней переводились в бифилярную схему с противофазным током, эффект почти полностью исчезал, сохраняясь отчасти в момент самоиндукции при замыкании и разрыве цепи. Аналогичные явления наблюдались в опытах, проводившихся по схеме рычажных весов. Разрезанный провод с парой соленоидов помещался в твердый пластиковый корпус и играл роль плеча рычага. Такой же корпус с противовесом на конце служил другим плечом рычага. Механизм подвижного ртутного контакта создавал центр опоры получившегося аналога рычажных весов. При прохождении переменного тока плечо с соленоидами без инерции поднималось вверх. Если же обмотка соленоидов переводилась в бифилярную схему, то при прохождении тока это плечо или не поднималось (в зависимости от варианта опыта), или поднималось с длительной задержкой времени. Вертикальная составляющая действия против силы тяжести была эквивалентна уменьшению примерно 4,5% веса обмотки соленоидов. Анализ опытов приводит к предположению, что М. Фарадей мог наблюдать реальное изменение веса проводников с электрическим током как явление связи гравитации и электромагнетизма.

Ключевые слова: экспериментальные исследования Фарадея, уменьшение веса проводников с переменным током, явление связи гравитации и электромагнетизма

ABOUT THE CHANGES IN FARADAY'S EXPERIMENT WITH THE APPARENT REDUCTION OF THE WEIGHT OF THE CONDUCTORS DURING THE PASSING OF THE ELECTRIC CURRENT IN THE ASPECT OF A HYPOTHETICAL CONNECTION OF GRAVITY AND ELECTROMAGNETISM

Romm Ya.E.

*A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: romm@list.ru*

The experiment of M. Faraday is described, in which a straight-line conductor with a constant current suspended by the middle showed «an apparent decrease in weight» during mobile electrical contact with mercury. Changes in the scheme of this experience are proposed in order to identify the cause of the phenomenon. Descriptions of 12 experiments performed according to the proposed schemes are given. The insulated conductor was folded in half, alternating current was passed through it, and it was suspended by the end opposite the movable contact. The effect of «apparent weight loss» at that was maintained. The suspended end was cut, two fastened solenoids were connected to it, alternating current passed through their windings in antiphase. As a result, the effect intensified, became stable, and acquired a characteristic hovering after turning off the current. Each solenoid had a double winding. If the wires in it were transferred to a bifilar circuit with an antiphase current, the effect almost completely disappeared, remaining partly at the moment of self-induction when the circuit was closed and broken. Similar phenomena were observed in experiments carried out according to the lever scales scheme. The cut wire with a pair of solenoids was placed in a hard plastic case and played the role of a lever arm. The mechanism of the mobile mercury contact created the center of support of the resulting analog of lever scales. During the passage of alternating current, the arm with solenoids without inertia rose upward. If the winding of the solenoids was transferred to a bifilar circuit, then when the current was passing, this arm either did not rise (depending on the variant of the experiment), or rose with a long time delay. The vertical component of the action against gravity was equivalent to a reduction of approximately 4.5% of the weight of the winding of the solenoids. Analysis of the experiments leads to the assumption that M. Faraday could observe a real change in the weight of conductors with an electric current as a phenomenon of the connection between gravity and electromagnetism.

Keywords: Faraday's experimental research, reduction of the weight of the conductors with alternating current, a phenomenon of the connection between gravity and electromagnetism

При изучении действия магнитного поля Земли на прямолинейный медный проводник с постоянным электрическим током

Фарадей наблюдал явление [1], которое привлекло его внимание «кажущимся уменьшением веса» проводника в момент замы-

кания цепи (в [1] эти слова иногда ставятся в кавычки, иногда нет). В «Заметке о новых электромагнитных движениях» [1, с. 218] описан следующий опыт по исследованию действия магнитного поля Земли на проводник с постоянным током. Был выбран прямолинейный медный проводник сечением 1 мм^2 , длиной $0,5 \text{ м}$, два конца которого П-образно отгибались под прямым углом параллельно друг другу. За середину проводник на шелковой нити подвешивался к высокому потолку. Отогнутые концы амальгамировались и опускались для подвижного электрического контакта в две круглые чаши с ртутью. Контакты едва касались поверхности [1, с. 220], которая покрывалась слоем слабого раствора азотной кислоты для свободного скольжения проводника. От калориметра Гейра [2, с. 183] на чаши с ртутью поступали разноименные заряды. В момент замыкания цепи проводник всегда смещался перпендикулярно самому себе в горизонтальной плоскости, каким бы образом априори не менялось его горизонтальное расположение. Смещение соответствовало закону Ампера: на прямолинейный проводник длины l с постоянным током I в магнитном поле, определяемом индукцией \vec{B} , действует сила $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$. Как векторное произведение она направлена перпендикулярно плоскости векторов-сомножителей, в частности вектору \vec{l} , направление которого совпадает с направлением тока. Опыт проводился в Королевском институте Лондона, географическое положение соответствовало наклонению магнитного поля Земли. Поскольку вектор \vec{B} направлен под углом к касательной плоскости в точке земной поверхности, то на горизонтально расположенный прямолинейный проводник с постоянным током при всех его направлениях должна действовать вертикальная составляющая силы \vec{F} . Чтобы выявить вертикальную составляющую, Фарадей заменил фиксированный подвес, прикрепив шелковую нить подвеса проводника к чувствительному рычажку весов. К отогнутым концам были припаяны тонкие медные проводки, они амальгамировались по всей длине для более глубокого погружения в ртуть. Ожидалось, что при одном направлении тока в проводнике рычажок поднимется, при другом – опустится (что соответствовало бы закону Ампера). Однако при любых горизонтальных положениях проводника и всех направлениях тока рычажок с момента замыкания цепи неизменно поднимался вверх (не во всех случаях одинаково). Фарадей обратил внимание на бугорок поверхности вокруг амальгамированных концов

проводника, который опускался при прохождении тока и поднимался в исходное положение в момент разрыва цепи. Это было проявлением электрокапиллярности – при прохождении тока поверхностное натяжение ртути уменьшалось (здесь это замечено впервые, позже исследовано Г.И. Липпманом в 1875 г. [2, с. 165]). Поскольку медь легче ртути, медные концы проводника, втягивавшиеся до пропуска тока поверхностным слоем, при замыкании цепи всплывали вверх. Оставалось сомнение, что единственной причиной подъема проводника является электрокапиллярность. Меняя размеры и сечение, Фарадей добился того, что проводник в момент замыкания цепи поднимался на целый дюйм вверх. Описание эффекта заканчивалось словами [1, с. 225]: «Является ли это действие на самом деле уменьшением притяжения частиц ртути или зависит от какой-либо другой причины, пока остается нерешенным. Но, во всяком случае, его влияние так велико, что его надо всегда учитывать в опытах, производимых для определения силы и направления электромагнитного провода, на который действует магнитный полюс».

Ниже исследуется наличие влияния на эффект именно «другой причины». Для этого механически компенсируется влияние электрокапиллярности, влияние внешнего магнетизма компенсируется переходом к переменному электрическому току в противофазе вдоль параллельно скрепленных проводников.

Фарадей проводил опыты в развитие открытого им вращения прямолинейного проводника с постоянным током вокруг магнитного полюса стержневого магнита, в данном масштабном изменении – вокруг магнитного полюса Земли. Ожидаемое в этом случае вертикальное смещение проводника он называл «кажущимся изменением веса». В статье излагаются видоизменения классического опыта, выполненные с целью выделить вертикальную составляющую механического действия на проводник с током, исключая влияние электрокапиллярности, внешнего магнетизма и возможных побочных эффектов. На основании анализа результатов, вслед за Фарадеем, ставится вопрос о природе наблюдавшегося им явления. Для обозначения искомого действия принят термин «кажущееся изменение веса» и его синонимы (в первоисточнике [1] этот термин использован в контексте вертикальной составляющей действия на проводник с током магнитного поля Земли). Наряду с тем, для искомого действия часто будет использоваться термин «вертикальная составляющая механического действия

на проводник с током» и краткие синонимы, например «вертикальная составляющая».

Цель исследования – выяснить, насколько это возможно в границах применения элементарных технических средств, что изменение веса проводников при прохождении по ним электрического тока при скомпенсированном действии внешнего и местного электромагнетизма не кажущееся, а реальное физическое явление, или что в рассматриваемых условиях изменение веса реально не проявляется.

Изменения схемы опыта Фарадея. Применяются следующие изменения схемы прототипа. Прежде всего, прямолинейный проводник перегибается посередине и складывается пополам. Обе половины при этом параллельны, между ними легкая изолирующая прокладка, в таком положении они скрепляются механически. Подвес осуществляется на конце проводника, в точке его перегиба. Ток подается на амальгамированные медные контакты на другом конце проводника через две сдвинутые, рядом расположенные емкости с ртутью. При такой конструкции внешнее механическое действие на обе половины одинаково по величине и противоположно по направлению, по закону Ампера действие внешнего магнитного поля равно нулю. Кроме того, вместо постоянного тока пропускается переменный ток, что влечет фактически нулевое действие магнитного поля Земли на проводник.

В данной модификации кажущееся изменение веса все же наблюдается, но стабильности вертикальной составляющей действия на проводник препятствует чувствительность безынерционной системы подвеса. Поэтому выполняется накопление искомого действия по длине проводника. В точке сгиба проводник разрезается и подсоединяется к 40 м более тонкого провода, свернутого в соленоидальную обмотку. Обмотка разделена на два соленоида, механически скрепленных параллельно вдоль направления разрезанного вдвое проводника. При этом на каждом соленоиде обмотка выполнена двойным проводом, который разрезается на концах для различных конфигураций соединения, включая контрольную схему. Остальное в принципе не меняется. В этом случае действие вертикальной составляющей проявляется наглядно в устойчивой форме.

В дальнейшем описание опытов детализируется, кроме того, будет использовано еще одно изменение схемы опыта Фарадея. Именно, подвес на нити к потолку будет заменен противовесом к только что описанной конструкции. Линия проводника

будет продолжена прямолинейно в сторону, противоположную соленоидам, с помощью легкого, но прочного непроводящего плеча рычага на расстояние, равное длине провода с соленоидами. На конце непроводящего плеча подвешивается небольшая емкость с равновесными грузиками. Конструкция уравнивается в горизонтальном положении. Затем пропускается переменный ток через емкости с ртутью, расположенные под центром рычага. Подвижные электрические контакты через токосъемники создают центр опоры коромысла рычажных весов. Если один конец изменит вес, равновесие нарушится. При прохождении тока действие вертикальной составляющей проявляется в том, что конец с соленоидами всегда поднимается вверх, как если бы те-рял часть веса.

Если вес конца с соленоидами увеличить с помощью разновесок, он опустится. Можно измерить силу, затрачиваемую на подъем рычага в исходное горизонтальное положение, выравнивая рычаг в горизонтальное положение без тока с помощью разновесов на противоположном конце, а затем без дополнительных противовесов – при прохождении тока.

Выполнение опытов по измененным схемам. Ниже излагаются отмеченные видоизменения опытов, выполнявшиеся с многолетними перерывами с 1986 [3] по 2016 г. [4, 5]. Эти опыты описывались также в [6]. В настоящей статье предложены технические уточнения предыдущих описаний, смысл результатов системно согласуется с предположением реальности изменения веса проводников и соленоидов при прохождении по ним электрического тока. Выделяются те особенности опытов, которые объективно указывают на реальность эффекта. Кроме того, описание опытов дополнено формализованной трактовкой рассматриваемого предположения.

Опыт 1. Для усиления искомого действия было увеличено отношение тока к удельному весу проводника. Вместо медного был выбран алюминиевый проводник в полихлорвиниловой изоляции длиной 3 м, диаметром кругового сечения 2 мм. Проводник сгибался пополам. Обе половины в виде отрезков параллельных прямых обматывались стягивающей изоляционной лентой по всей длине до состояния относительной жесткости. Зачищенные разомкнутые концы проводника привинчивались к медным пластинам 20x20x2 мм. Снизу (противоположно винтам) в каждой пластине выполнялась П-образная прямоугольная прорезь 15x7 мм. Обе пластины располагались параллельно, между ними

помещалась тонкая деревянная прослойка для электрической изоляции, контакты стягивались изоляционной лентой до жесткости соединения. Заточенные нижние концы П-образных пластин амальгамировались и для подвижного электрического контакта опускались в отдельные пластиковые ванночки с ртутью, имевшие форму параллелепипедов, которые соприкасались боковыми гранями и наполнялись ртутью на $4/5$ высоты. Верх каждой пластины располагался параллельно линии проводника, не касаясь передней стенки ванночки. На подвешенный в горизонтальном положении проводник через ртуть поступал переменный электрический ток по бифилярному проводу, продолжавшему продольную ось проводника в противоположном от него направлении на 2,5 м (рис. 1). Свободный конец проводника прикреплялся к вертикальной резиновой «нити» (эластомерная нить диаметром $\approx 0,5$ мм) длиной 0,6 м. Сверху «нить» привязывалась к незакрепленному центру радиально расходящихся по плоскости потолка таких же резиновых «нитей». В центре радиальные «нити» стягивались в узел. К изгибу проводника снизу крепился свешивающийся по вертикали проводок, его нижний конец отгибался в горизонтальное положение и в положении равновесия помещался в фокусе между линзами диапроектора, с которого был снят металлический корпус. Перевернутое изображение проводка с увеличением в несколько десятков раз фокусировалось в виде тени на экране, отстоящем на 3,5 м, движение сдвоенного проводника вверх или вниз отображалось в обратном направлении. Количество вертикальных «нитей» подвеса иногда увеличивалось для стабилизации начального равновесия (рис. 1). Питание цепи осуществлялось переменным током частотой 50 Гц от электросети с напряжением 220 В (аналогично во всех описываемых ниже опытах, если не оговаривается иное) с помощью ЛАТРа (РНО-250-20). Цепь замыкалась через пакетный выключатель с параметрами напряжения и тока в диапазоне 30–170 В и 50–100 А. В равновесном положении сдвоенного проводника ток включался на время ≈ 3 с. В момент включения всегда наблюдалось резкое изменение равновесия. В некоторых случаях подвешенный конец проводника поднимался, в некоторых – опускался. В момент выключения тока равновесие нарушалось более плавно, почти всегда подвешенным концом вверх, с амплитудой в 1,5–2 раза большей, чем при включении тока. В промежутке прохождения тока колебания около положения равновесия носили затухающий характер. Схема взвешивания

была чувствительной, до включения тока на экране были отчетливо отражены внешние сейсмические колебания. Действие стационарного внешнего магнетизма на проводник «бифилярной» конструкции с переменным током исключалось. Характер колебаний проводника до включения и в момент протекания тока всегда различался, возможно, косвенно указывая на искомый эффект. Электрокапиллярность в подвижном контакте создавала механический момент, который противодействовал отклонению проводника вверх при включении тока и отклонению вниз – при выключении. Этим отчасти объяснялась разница амплитуд колебаний в моменты замыкания и разрыва цепи. Однако оставалось без объяснения движение подвешенного конца вверх в момент включения тока, когда оно возникало противоположно направлению сейсмического колебания. Не более ясно происхождение стабильного движения подвешенного конца вверх при выключении тока. Максимумы амплитуды в моменты замыкания и разрыва цепи указывали на возможную связь с самоиндукцией. Если предположить, что действие против силы тяжести проводника в некоторой мере продолжалось после включения тока, то в момент выключения самоиндукция усиливала эффект, и он получал устойчивое наглядное проявление. Однако он оставался смешанным с действием электрокапиллярности. Очевидно, следовало интегрально накопить эффект по длине проводника, этим же увеличивалась бы инертность, демпфируя сейсмические колебания. Удлинить проводник и одновременно усилить индуктивность получалось присоединением к нему соленоидальной обмотки. На этой основе выполнялся описываемый ниже опыт.

Опыт 2. Алюминиевый провод из предыдущего опыта в месте изгиба разрезался пополам. Каждая половина соединялась с одним из двух одинаковых соленоидов с алюминиевой обмоткой. Соленоиды жестко скреплялись механически. Конструкция приобретала тяжесть и в подвешенном состоянии при разомкнутой цепи не отражала внешних сейсмических колебаний, оставаясь неподвижной. Каждый соленоид имел обмотку из двойного (разрезанного на концах для возможности изменения схемы соединений) алюминиевого провода диаметром 0,75 мм с эмалевой изоляцией. Длина одинарного провода обмотки соленоида составляла 10 м. Обмотка выполнялась на картонный цилиндр высотой 115 мм, диаметром 25 мм и толщиной стенки 1,5 мм, в три слоя, с тонкой бумажной прокладкой между слоями. Раздельные двойные концы

обмотки выступали за обе границы противоположных оснований цилиндра на 18 см (для доступной смены контактных соединений). Через полые отверстия цилиндрические каркасы скреплялись между собой двумя тонкими полосками прессшпанового картона, выступающие концы которых туго обматывались хлопковой нитью. Для механической прочности поверх полосок накладывались две плоские палочки липового дерева размером 260x5x2,5 мм. Оба их конца, стянутые изоляционной лентой, выступали за границы каркасов. В каждом соленоиде выходной конец первого провода двойной обмотки соединялся с начальным концом второго провода, так что в одном и том же соленоиде ток проходил только в одинаковом направлении (в одной фазе) по одному и другому проводу обмотки. Свободный выходной конец второго провода обмотки одного соленоида подсоединялся к свободному выходному концу второго провода обмотки другого соленоида, в результате по двум соленоидам переменный ток шел в попарно противоположных направлениях (в противофазе). Суммарная длина проводов обмотки каждого соленоида составляла 20 м, двух соленоидов – 40 м. Длина одинарного провода, подводящего к ним ток от подвижного контакта, – 1,5 м, в сумме сдвоенные подводящие провода имели длину 3 м. Пара соленоидов посередине подвешивалась к центру радиально расположенных по потолку «нитей», тех же, что

в опыте 1. Половина их них стягивалась вдоль потолка в линию параллельную продольной оси сдвоенных проводов, подводящих ток к соленоидам. Эти провода равномерно подвешивались «нитьями» от стянутой под потолком линии (в зоне 50 см от подвижного контакта подвес не выполнялся). От противоположной половины радиальных «нитей» вблизи исходного центра выполнялся подвес внешнего конца пары соленоидов. Натяжение резинового подвеса демпфировало сейсмические колебания и механические моменты, но оставалось чувствительным к вертикальному действию на механическую конструкцию подводящих ток проводов с соленоидами. К внешнему концу палочек, выступавших из каркасов соленоидов, крепилась узкая коническая указка из бумаги с проклеенными краями. С конца указки свешивался проводок, горизонтальный изгиб которого помещался в фокусе между линзами того же диапроектора (рис. 2). Тот же ЛАТР посредством балластного сопротивления достигал рабочих параметров. Подвешенная конструкция выравнивалась вдоль горизонтальной оси сдвоенных проводов, продольные оси соленоидов были ей параллельны. Диапазон напряжения и силы тока, с которыми выполнялся опыт, включал значения:

$$(60\text{ В}, 26\text{ А}); (70\text{ В}, 32\text{ А}); (90\text{ В}, 35\text{ А}); \\ (140\text{ В}, 46\text{ А}); (170\text{ В}, 50\text{ А}). \quad (1)$$

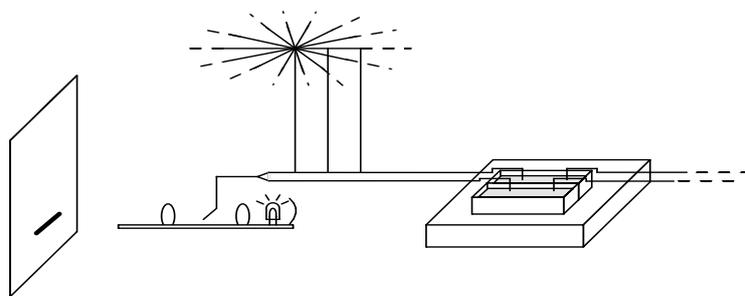


Рис. 1. Схема взвешивания сдвоенного проводника (опыт 1)

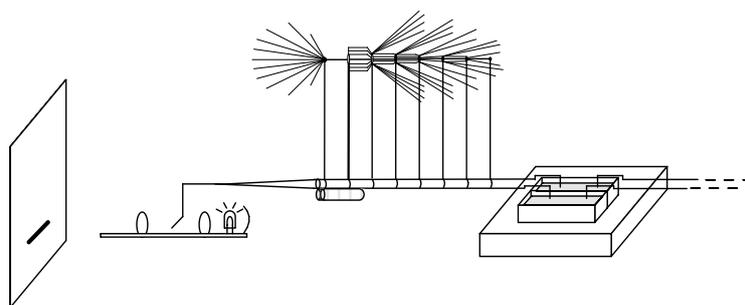


Рис. 2. Схема взвешивания сдвоенного провода с соленоидами (опыты 2, 3)

Цепь замыкалась на ≈ 3 с. Во всем диапазоне (1) устойчиво проявлялось искомое действие – в момент включения тока тень проводка на экране без видимой задержки начинала перемещаться по вертикали вниз. Она продолжала движение в том же направлении с постоянной скоростью до момента выключения тока. В силу обратной фокусировки линз это соответствовало подъему соленоидов вверх – против силы тяжести. Искомая вертикальная составляющая действовала на сдвоенный провод с соленоидами по направлению «кажущегося уменьшения их веса». В момент выключения тока тень с полным отсутствием видимой инерции застыла на достигнутом уровне. После выключения тока она очень медленно, со скоростью в десятки раз меньшей, чем скорость перемещения при прохождении тока, равномерно возвращалась вверх в начальное положение. Это соответствовало спуску соленоидов в исходное положение равновесия. Оставалось впечатление существенной инерционности убывания вертикального действия на провода с соленоидами после разрыва цепи. Восстановление исходного равновесия длилось 3–5 мин. Если прежде, чем начинало восстанавливаться исходное положение, ток снова включался на ≈ 3 с, то описанное явление воспроизводилось от точки останова. С теми же кинематическими характеристиками тень опускалась от зафиксированного положения так, как если бы ток включался первый раз. Если такие переключения выполнялись несколько раз, то ступенчатыми перемещениями, тень на экране проходила путь 1,5–2 м. Это соответствовало ступенчатому подъему соленоидов против силы тяжести – по направлению «кажущегося уменьшения их веса». По-прежнему вертикальная составляющая проявляла инерционность: в каждый момент выключения тока сдвоенный провод с соленоидами зависал, не падая вниз. Наиболее четко эффект проявлялся в диапазоне 60–80 В, хотя ясно наблюдался по всему диапазону (1). В различное время, без изменений описанного явления и без сбоев, опыт последовательно воспроизводился тридцать два раза.

Наиболее характерная особенность проявления вертикальной составляющей – зависание в каждый момент выключения тока и ступенчатый подъем в каждый последующий момент его включения, причем без изменения скорости по ступеням. Эта особенность совершенно исчезала при проведении контрольного опыта посредством изменения схемы соединения проводников на каждом соленоиде.

Опыт 3 (контрольный). При полном сохранении условий, схемы и параметров предыдущего опыта менялось контактное соединение сдвоенных проводников обмотки на соленоидах. Именно, на каждом соленоиде рядом расположенные выходные концы сдвоенных проводников соединялись между собой по схеме бифиляра – ток от конца одного проводника обмотки переходил на второй, рядом расположенный, конец другого проводника обмотки этого же соленоида (в этом случае термин «соленоид» берется в кавычки). Свободные концы проводников двух «соленоидов» соединялись между собой. В результате в каждом отдельном «соленоиде» ток протекал по схеме бифиляра и переходил с одного «соленоида» на другой в противофазе. Как и раньше, вся конструкция выравнивалась вдоль горизонтальной оси сдвоенных проводов. При замыкании цепи на ≈ 3 с эффект радикально менялся следующим образом. Непосредственно в момент включения тока возникало нарушение равновесия сдвоенных проводов с парой «соленоидов»: тень отогнутого проводка на экране опускалась вдоль вертикали вниз (и только вниз), примерно на 1,5 см, что означало малый подъем «соленоидов» вверх. Подъем продолжался короткий начальный промежуток времени и имел плавно замедляющийся характер. Уже в следующий момент, еще до выключения тока, наступал возврат к исходной точке покоя с небольшими затухающими колебаниями возле нее. В момент выключения тока повторялся эффект, наблюдавшийся при включении, с таким же опусканием тени на $\approx 1,5$ см. После выключения тока совершались колебания возле исходного положения равновесия, которые быстро затухали. Опыт без изменений и без сбоев воспроизводился 14 раз. Эффект наиболее четко выражался в диапазоне 80–90 В, слегка «размазывался» на выходе из границ этого диапазона и искажался при дальнейшем росте напряжения. Так или иначе, ослабленное проявление вертикальной составляющей оказывалось связанным с моментом самоиндукции.

Как следует из изложенного, эффект зависания и ступенчатого подъема полностью исчезал при описанном изменении исходной коммутации проводников на соленоидах.

Сопоставление основного и контрольного опытов. С учетом результатов опыта 3 причина действия на сдвоенный провод с соленоидами по направлению «кажущегося уменьшения веса» в опыте 2 не определялась электрокапиллярностью – в обоих опытах подвижный контакт не менялся, но результаты оказались принципиально

различными. Это действие не определялось также тепловой конвекцией – обмотка одинаково нагревалась в обоих опытах. Кроме того, причина действия не определялась конструкцией подводящих ток проводов и изоляционным материалом вследствие неизменности в обоих опытах. Зависание алюминиевых проводников при разрыве цепи нехарактерно для действия внешних электромагнитных наводок, оно нехарактерно также для действия местного магнетизма, – к соленоидам на расстояние до половины метра подносился ЛАТР при включенном токе из общей цепи, но это не приводило к заметным изменениям эффектов опытов 2, 3.

При дальнейшем сокращении расстояния конструкция притягивалась к ЛАТРу.

Можно было бы допустить сочетание внешних воздействий, вследствие которых возникло угловое натяжение «нитей» подвеса, создававших вертикальную составляющую. Однако тень на экране перемещалась по идеальной вертикали, без угловых и горизонтальных сдвигов, это означало отсутствие существенных угловых воздействий.

Проявлению «кажущегося уменьшения веса» в обоих опытах соответствовало действие в них электромагнитной индукции, различавшееся в качественном и количественном выражении. В опыте 3 соответственно выражалось в форме самоиндукции при замыкании и разрыве цепи. Бифилярная схема обмотки «соленоидов» в этом случае существенно снижала индуктивность по сравнению с однофазной схемой обмотки соленоидов в опыте 2. Разница индукции согласовывалась с различающимися эффектами.

Можно на время исследования предположить, что именно вихревые токи электромагнитной индукции подводящих проводов и обмотки при замыкании и разрыве цепи приводили к появлению вертикальной составляющей действия против силы тяжести.

Необходимо было дополнительно проверить, не было ли причиной «кажущегося уменьшения веса» сочетание неучтенных электромагнитных наводок, резонансных механических воздействий и натяжений «нитей» подвеса, в частности вследствие прямолинейного смещения конструкции вдоль оси подводящих ток проводников. Оно могло быть, если вообще было, достаточно незначительным в силу П-образной формы медных контактов, прорезью обходящих стенку ванночки с ртутью.

С целью исключения этих и других побочных эффектов следовало изменить схему взвешивания. В частности, в новой схеме формы подвижного электрического

контакта должны были исключать любое механическое смещение конструкции. Целесообразно было отказаться от резинового подвеса, что упростило бы проведение опыта вне помещения.

Как оказалось, ступенчатое действие вертикальной составляющей воспроизводилось и по описываемой в дальнейшем новой схеме.

Опыты по схеме рычажных весов. Ниже описываются опыты, выполненные в 2012–2016 гг. [4, 5]. Для исключения возможных побочных эффектов предыдущих опытов наиболее принципиален следующий опыт из числа проводимых по новой схеме. Подводящие ток прямолинейные алюминиевые провода диаметром кругового сечения 2 мм, каждый длиной 1,4 м, скреплялись парой параллельно, как в опытах 2, 3. Использовалась лакокрасочная изоляция, скрепление выполнялось равномерно по длине полосками конденсаторной бумаги, пропитанными суперклеем. Для компенсации влияния изгибов этих проводов на механическое поведение проводников выровненная вдоль оси скрепленная пара помещалась внутрь легкого пластикового корпуса. Корпус имел форму усеченного конуса высотой 1,4 м, диаметрами оснований 4,5–11 м. Большим основанием конус был обращен к центру равновесия описываемой конструкции. Для большего противодействия влиянию прогибов и вибраций концы конического корпуса стягивались нейлоновой нитью от вертикальной стойки высотой 30 мм посередине корпуса. На конце конуса с меньшим основанием к проводам подсоединялась пара одинаковых соленоидов. Обмотка выполнялась из алюминиевого провода с эмалевой изоляцией диаметром кругового сечения 0,8 мм. У каждого соленоида обмотка состояла из двойного провода, разделенного на концах. Длина одинарного провода 10 м, двойного – 20 м, суммарная длина проводов обмотки двух соленоидов – 40 м. Слои обмотки разделялись бумажными конденсаторными прокладками, стянутыми вдоль витков нейлоновыми нитями. Каркасом для обмотки служил картонный цилиндр высотой 109 мм, его внешний диаметр – 22,7 мм, внутренний – 22 мм, масса – 4,25 г. Два соленоида скреплялись параллельно и фиксировались на конце пластикового корпуса монтажной пеной. На противоположном конце конического корпуса внутренние провода соединялись с переходниками, через которые осуществлялся контакт с медными токосъемниками (два отрезка цилиндрического провода). Токосъемники направлялись перпендикулярно продольной оси конуса (параллельно горизонталь-

ной плоскости соленоидов), в продолжении отгибались под прямым углом (перпендикулярно той же плоскости), и на концах снова ступенчато отгибались параллельно горизонтальной плоскости. В результате на концах они имели вид пары взаимно отвернутых латинских букв L, длина вертикальной части – 30 мм, горизонтальной – 8 мм. Отогнутые концы амальгамировались и вставлялись в амальгамированные круглые отверстия в верхних частях двух плоских медных пластин (штулок). Пластины фиксировались по вертикали параллельно друг другу в двух отдельных ячейках монолитного отфрезерованного органического стекла. Ячейки имели форму параллелепипедов с параллельными гранями в смежной части, каждая ячейка имела объем 20 см³. Внизу к пластинам подсоединялись медные кабели гибких подводящих ток проводов. Для подвижного электрического контакта ячейки наполнялись ртутью до половины отверстий штулок (рис. 3). Соленоиды и корпус со сдвоенными проводами уравнивались в горизонтальном положении с помощью противовеса (цилиндрическая коробочка с разновесками), который располагался на конце пластикового корпуса, служившего плечом рычага. Корпус имел ту же форму, размеры и материал, что и корпус с проводами, аналогично стягивался нейлоновой нитью. Оба корпуса вдоль общей продольной оси механически соединялись в центре равновесия через сплошной пенопластовый цилиндр диаметром 40 мм, высотой 25 мм. Вся установка была аналогична техническим весам рычажной конструкции: на одной «чаше» помещались соленоиды, на другой – противовес (рис. 3). Подвижный электрический контакт определял центр равновесия горизонтальной оси рычага (точку опоры «кормысла весов»). На конце плеча с противовесом подвешивался тонкий алюминиевый проводок, свободный конец которого отгибался под пря-

мым углом и помещался в фокусе между линзами диапроектора. Диапроектор был такой же, как в описанных выше опытах. Тень проводка между линзами фокусировалась на экране на удалении ≈ 5 м. Положение проводка на уравнивающем конце давало прямое соответствие направлений движения соленоидов и тени, которая теперь повторяла движение соленоидов вверх или вниз.

Опыт 4. Полностью копировалась схема соединения проводников обмотки соленоидов, выполненная в опыте 2. Именно, по обмотке каждого в отдельности соленоида ток дважды проходил в одном направлении (в одной фазе), в паре скрепленных соленоидов – в попарно противоположном направлении (в противофазе). Плечи рычага уравнивались в горизонтальном положении. На ячейки с ртутью подавался переменный ток с параметрами из (1), однако в этой серии опытов ток не превышал 45 А. Цепь замыкалась на ≈ 2 с. Практически сразу (без видимой инерции) после включения тока, как показывало движение тени на экране, равновесие рычага нарушалось подъемом соленоидов вверх против силы тяжести. Из горизонтального положения рычаг непосредственно перевешивался в сторону «кажущегося уменьшения веса» соленоидов. После выключения тока он оставался в этом положении, не возвращаясь в равновесие, более 10 мин. Противовес рычага ощутимо противился попытке вручную вернуть рычаг в горизонтальное положение. Опыт воспроизводился 20 раз в различных помещениях и при различных направлениях продольной оси рычага. Эффект повторялся, даже если снизу к соленоиду подносилась стальная пластина массой 12 кг на расстояние от 1 м до 20 см. Создавалось впечатление, что действие против силы тяжести превосходит по величине влияние местного магнетизма и электромагнитных наводок.

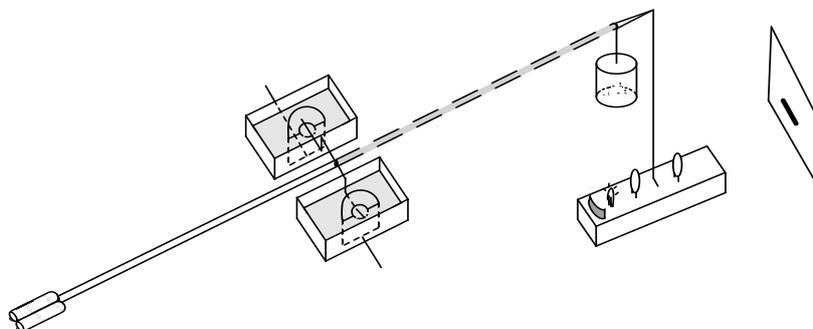


Рис. 3. Схема взвешивания сдвоенного провода с соленоидами в опытах 4, 5

Таким образом, в условиях исключения прямолинейного смещения конструкции вдоль оси подводящих ток проводников вертикальная составляющая действия на соленоиды по-прежнему сохранялась и действовала в направлении кажущегося уменьшения их веса.

Опыт 5 (контрольный). Полностью копировалась схема соединения проводников обмотки соленоидов, выполненная в опыте 3. Ток проходил по обмотке каждого в отдельности «соленоида» по бифилярной схеме. По обмоткам обоих скрепленных в паре «соленоидов» – в попарно противоположном направлении (в противофазе). При сохранении остальных условий и параметров опыта 4 переменный ток включался на ≈ 2 с. После включения тока, во время его прохождения и после выключения эффект «кажущегося уменьшения веса» полностью исчезал. По крайней мере, несколько минут рычаг неподвижно оставался в горизонтальном равновесии. Контрольный опыт повторялся 10 раз, приводя к одному и тому же результату. Равновесие не нарушалось совсем или обнаруживалось (почти случайно) только по истечении нескольких минут. Если по истечении этого времени горизонтальное равновесие все же нарушалось, то только противоположно силе тяжести «соленоидов» (по направлению «кажущегося уменьшения их веса») и никогда не нарушалось в обратном направлении.

Таким образом, при смене однофазного соединения пары проводников обмотки соленоида на противофазное (по схеме бифиляра) эффект безынерционного проявления вертикальной составляющей действия на соленоиды (опыт 4) фактически исчезал. Если он проявлялся, то крайне инерционно, со значительной задержкой времени после выключения тока, причем по-прежнему в направлении кажущегося уменьшения веса «соленоидов».

Обсуждение опытов 4, 5. В опыте 4 вертикальная составляющая действия на соленоиды сохранялась в направлении против силы тяжести. Отсюда следует, что она не происходила от механических особенностей резинового подвеса в предыдущих опытах. Кроме того, она оказалась совершенно не связанной с электрокапиллярностью, поскольку рычажная конструкция своим весом придавливалась через ртуть в местах подвижного контакта к основаниям и стенкам отверстий медных пластин. В наибольшей мере предположение о действии ртути как причине «кажущегося уменьшения веса» исключает различие эффектов в двух последних опытах при неизменности подвижных контактов.

Эффект опыта 4 воспроизводился даже тогда, когда до включения тока соленоиды априори перевешивали груз на другом конце рычага и стационарно находились ниже горизонтали, касаясь стола. При прохождении тока рычаг выравнивался в горизонтальное положение и конец с соленоидами поднимался вверх! Эффект опыта 5 в этом случае вообще не проявлялся – наклонное положение рычага при прохождении тока не менялось.

Очевидно и то, что наличие вертикальной составляющей нельзя приписать действию теплового потока воздуха от нагревания соленоидов: в опыте 5 происходило такое же нагревание обмотки, но эффект безынерционного «уменьшения веса» исчезал.

Оба эффекта опытов 4 и 5 единообразно объясняются предположением, что вертикальная составляющая порождалась действием вихревых электрических токов. При этом в опыте 4 это действие сильнее, и эффект был безынерционным. В опыте 5 оно ослаблено до явления только самоиндукции при замыкании и разрыве цепи. В этом случае действие не было постоянным, оно было импульсным. С учетом трения в месте подвижного контакта, в результате оно проявлялось в слабой форме, эффект был инерционным, однако все же проявлялся со значительной временной задержкой в виде перевеса рычага (в сторону уменьшения тяжести «соленоидов»).

Влияние внешнего магнетизма фактически исключалось, – ток был переменным, по обмоткам соленоидов и подводящим проводам шел в противофазе. Эффект опыта 4 воспроизводился, если ближе полуметра снизу к соленоидам подносились стальная пластина массой 12 кг. Влияние проводов, подводящих ток к емкостям с ртутью, проверялось непосредственно: их расположение менялось по разным направлениям плоскости и пространства, но на эффекте опыта 4 это не сказывалось. Необходимо учесть, кроме того, что в опыте 2 такая проводка располагалась в одной плоскости с взвешенной конструкцией, продолжала линию ее продольной оси (рис. 2), при этом была свернута в бифиляр во всем своем дальнейшем продолжении.

Специфику вносили два токосъемника. Они создавали момент, который препятствовал подъему соленоидов, если соленоиды перевешивали конец рычага ниже горизонтали. Аналогичный момент содействовал перевешиванию против силы тяжести, когда соленоиды поднимались выше горизонтали. Этим, помимо инерционности «кажущейся потери веса», и трением покоя в контактах объясняется, что рычаг не воз-

вращался в горизонтальное положение после выключения тока более 10 мин.

Ниже описываются варианты опытов, в которых трение покоя ослаблено, а «кажущееся уменьшение веса» как следствие самоиндукции всегда воспроизводилось.

Именно, в двух следующих опытах применялись те же соленоиды, та же схема взвешивания, которые были в двух предыдущих опытах, но с двумя изменениями. Для подвижного контакта использовались два прямолинейных амальгмированных медных стержня (цилиндрические проводники длиной 4 см, диаметром 2 мм) с иглообразно заточенными концами, которые располагались перпендикулярно продольной оси рычага и плоскости соленоидов. Их соединение со сдвоенными проводами в качестве токосъемников выполнялось через переходник из двух предшествующих опытов. Заостренными концами токосъемники опускались на середину дна небольших цилиндрических емкостей из монолитного органического стекла. Ток поступал через амальгмированные латунные электроды, закрепленные в дно цилиндров с внешней стороны. В точках контакта с токосъемниками (во избежание приваривания) дно покрывалось полированными стеклами оптических линз. Емкости имели высоту 1,5 см, диаметр 15 мм, ртутью наполнялись наполовину. Для оптического контроля в центре рычага прикреплялось плоское зеркальце 1x1 см, немного отклоненное отражающей поверхностью вверх. На штативе, удаленном от конструкции, крепился твердотельный лазер мощностью 15 Вт. Луч от него направлялся на зеркальце и отражался точкой на экране с противоположной соленоидам стороны рычага на расстоянии 5 м от конца. Движение соленоидов вверх или вниз отражалось движением точки в обратном направлении (рис. 4).

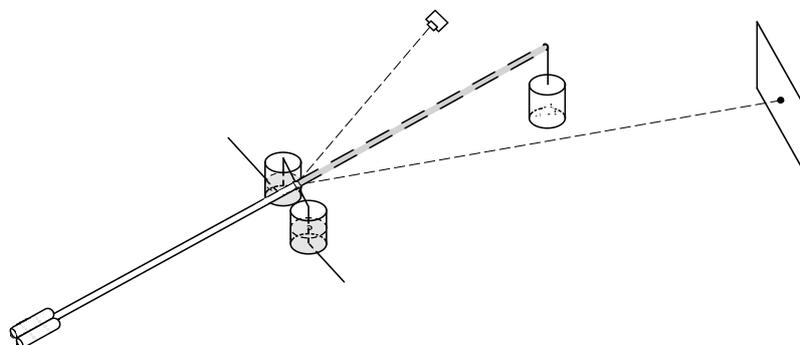


Рис. 4. Схема взвешивания сдвоенного провода с соленоидами в опытах 6, 7

Опыт 6. Проводники обмоток соленоидов повторяли соединение по схеме опытов 2, 4. Рычаг с соленоидами и противовесом уравнивался в горизонтальном положении продольной оси. Цепь переменного тока с параметрами из (1), в этой серии опытов ток не превышал 43 А, замыкалась на ≈ 2 с. Сразу после включения тока, без видимой инерции, соленоиды перевешивались вверх противоположно силе тяжести и оставались в положении нарушенного равновесия. Они продолжали так оставаться после выключения тока не менее 10 мин, словно «кажущееся уменьшение их веса» восстанавливалось с сугубым замедлением. Эффект повторялся в 10 опытах подряд в разное время. Он устойчиво воспроизводился даже тогда, когда, не дожидаясь восстановления равновесия, добавляли небольшой перегруз, и соленоиды до включения тока были перевешены ниже горизонтального положения.

Как и прежде, выполнялся контрольный опыт.

Опыт 7 (контрольный). Проводники двойных обмоток соленоидов соединялись по бифилярной схеме опытов 3, 5. В остальном полностью сохранялись схема, параметры и компоненты предыдущего опыта. При замыкании цепи «соленоиды» продолжали сохранять полное равновесие, примерно около минуты. Затем все же перевешивались вверх противоположно силе тяжести. После выключения тока они оставались в положении нарушенного равновесия, как в опыте 6. Эффект устойчиво воспроизводился в 10 опытах подряд.

Опыты 4, 5 и 6, 7, как правило, выполнялись в диапазоне токов, не выходящих за пределы 46 А, 75 В. В опыте 6 повторялся эффект опыта 4, а в опыте 7 – эффект опыта 5, но с большей чистотой, благодаря повышенной чувствительности схемы взвешивания и оптического контроля.

Опыты 6, 7 воспроизводились в различных помещениях и вне помещения, на удалении от стен здания ≈ 6 м, при различных углах поворота в горизонтальной плоскости продольной оси рычага. Во всех случаях описанные эффекты не подвергались изменению.

Движение точки лазерного луча на экране не отклонялось от вертикали, что означало отсутствие проявлений горизонтальных (и угловых) составляющих действия на проводники и соленоиды. При удалении от стен здания экраном служила верхняя часть стены, и точка лазерного луча, не отклоняясь от вертикали, проходила путь около метра.

Таким образом, повышение чувствительности схемы взвешивания не изменило эффекта опытов 2, 4, приведя к безынерционному проявлению вертикальной составляющей в опыте 6.

С другой стороны, данное видоизменение схемы позволило наблюдать устойчивое проявление вертикальной составляющей в опыте 7: это проявление было инерционным, но с меньшей задержкой времени, в более наглядной форме, чем в опытах 3, 5, и, очевидно, устойчиво воспроизводимым.

Можно было наблюдать действие вертикальной составляющей на соленоиды, по-прежнему против силы тяжести, промежуточное по величине и инерционности между действиями в опытах 2, 4, 6, с одной стороны, и в опытах 3, 5, 7 – с другой. Для этого достаточно было изменить соединение проводников между двумя соленоидами, как описывается в следующем опыте.

Опыт 8. В условиях опыта 6 проводники двойных обмоток каждого из двух соленоидов в отдельности соединялись по схеме опытов 2, 4, 6. В описываемом опыте было внесено только то изменение, что переменный ток по обоим соленоидам пары проходил попарно в одном и том же направлении (в одной и той же фазе). В момент замыкания цепи некоторое время сохранялось равновесие, затем оно нарушалось противоположно силе тяжести соленоидов. Время сохранения равновесия было примерно втрое меньше чем в опыте 7, но принципиально больше чем в опытах 2, 4, 6, – эффект в этом случае отличался заметной инерционностью.

Опыт 8 показывает, что вертикальная составляющая по направлению «кажущегося уменьшения веса» соленоидов убывает по мере убывания индукции вихревых электрических токов (при сохранении других параметров опыта) и растет с ее возрастанием.

Из предыдущего и из опыта 8 дополнительно вытекает, что рассматриваемое явление не есть следствие внешнего элек-

тромагнитного воздействия, иначе оно должно было бы усилиться в опыте 8 при однофазном прохождении тока по обоим соленоидам, в то время как на самом деле ослабло. В опыте 8 два соленоида имели 40-метровую длину обмотки с однофазным переменным током, любая внешняя индукционная наводка должна была действовать на них сильнее, чем при раздельной конфигурации обмотки с противофазным током такой же силы.

В целом, поскольку в опытах с бифилярной схемой обмотки соленоидов эффект оказывался «пренебрежимо» малым по сравнению с опытами на основе соленоидальной схемы, очевидно, что главную часть вертикальной составляющей следует отнести к действию именно на соленоиды, а не на сдвоенные провода, подводящие к ним ток. Схема соединения последних в этих опытах оставалась неизменной.

Описываемые в дальнейшем опыты воспроизводили ступенчатое действие вертикальной составляющей против силы тяжести. Кроме того, на их основе получалась приближенная количественная оценка действия вертикальной составляющей.

Опыты с перевесом соленоидов и приближенная оценка действия против силы тяжести. За основу брался опыт 6 с сохранением всех компонентов, проводники обмотки соленоидов соединялись по схеме опытов 2, 4, 6, подвес при этом частично заимствовался из опыта 2 (рис. 5). Предварительно рычаг располагался по горизонтали вдоль продольной оси. Через точку вертикали, восстановленной от конца с соленоидами, в плоскости перпендикулярной продольной оси рычага, вдоль потолка на высоте 2 м 10 см натягивалась полоса эластичной тесьмы длиной 5,9 м (75% полиэфира, 25% латексной нити). Вдоль вертикали от центра полосы свешивались 3 резиновые «нити» длиной 80 см (эластомерная нить № 18, диаметр 1 мм). К нижним концам резиновых «нитей» подвязывалась нейлоновая нить (иначе от нагрева резина могла стать аморфной и «размазать» эффект), на которую прикреплялся конец плеча рычага с соленоидами. К соленоидам прикреплялся груз, и с помощью противовеса на противоположном конце рычага конструкция заново приводилась в горизонтальное положение вдоль своей продольной оси. При этом эластичная тесьма и «нити» находились в упруго натянутом состоянии.

Опыт 9. В состоянии горизонтального равновесия рычага к концу плеча с соленоидами дополнительно прикреплялась стальная шайба массой 0,3 г. Противовес утяжелялся меньшим грузом – массой 0,2 г.

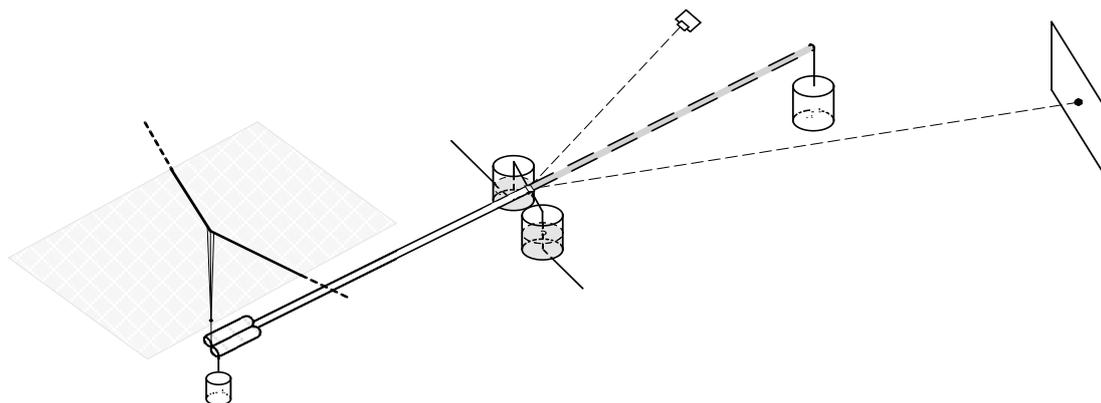


Рис. 5. Схема взвешивания двоянного провода с соленоидами в опытах 9–11

В результате возникал небольшой наклон рычага от горизонтали по направлению силы тяжести соленоидов, который фиксировался на экране точкой лазерного луча. Цепь переменного тока с параметрами 38–40 А, 80 В замыкалась на ≈ 2 с. С момента включения тока, без видимой инерции, рычаг равномерно поднимал дополнительный груз в горизонтальное положение. Это демонстрировало перемещение по вертикали точки лазерного луча на экране в обратном направлении. Длина пути перемещения до выключения тока составляла $\approx 2,5$ см. Видимая на экране длина пути была меньше, чем в опыте 2, вследствие, прежде всего, отсутствия оптического увеличения, кроме того, из-за большего веса рычага и более короткого периода замыкания цепи. В момент выключения тока движение точки на экране сразу прекращалось, вначале оно оставалось четко фиксированным в положении останова. Рычаг зависал, аналогично тому, как наблюдалось в опыте 2. Затем, через некоторое время, происходило медленное возвращение в исходное (наклонное) положение, установленное до включения тока. Процесс возвращения занимал ≈ 5 мин.

В следующем опыте начальный наклон был увеличен для увеличения длины пути на экране. Предполагалось выяснить, в какой мере на поведение вертикальной составляющей влияет инерционность рычага с грузами и периодическое переключение тока.

Опыт 10. На конце плеча с соленоидом прикреплялась еще одна шайба массой 0,3 г (в сумме масса дополнительного груза 0,6 г). Масса дополнительного груза противовеса также удваивалась. С этими грузами повторялся опыт 9, при этом все особенности предыдущего опыта проявлялись практически без изменений. Через небольшой промежуток времени, пока точка луча

на экране продолжала находиться в положении зависания, зафиксированном в первый момент после выключения тока, производилось повторное включение тока на ≈ 2 с. С момента второго включения, практически без инерции, рычаг продолжил равномерно подниматься, как показывало вертикальное перемещение точки на экране. Точка перемещалась от положения зависания точно так, как она перемещалась от исходного положения при первом включении тока. После выключения тока движение точки на экране сразу прекращалось, оставаясь в этот момент четко фиксированным теперь уже на второй (нижней на экране) позиции останова. Путь, который проходила точка на экране за время второго замыкания цепи, составлял $\approx 2,5$ см, как и при первом замыкании. Через некоторое время начиналось возвращение рычага в положение с наклоном. В исходное, установленное априори до первого включения тока положение, рычаг возвращался ≈ 10 мин.

Таким образом, наличие балластных грузов не внесло видимых изменений в поведение вертикальной составляющей и при этом не помешало проявиться ступенчатому эффекту ее действия против силы тяжести.

В следующем опыте в соленоиды вкладывались стальные сердечники для усиления индуктивности, соответственно увеличивался груз противовеса.

Опыт 11. Сохранялись все компоненты опыта 10, но изменения коснулись дополнительных грузов. Внутрь соленоидов по отдельности вкладывались два одинаковых стальных цилиндра высотой 79 мм, диаметром основания 3,5 мм, суммарной массой 11,5 г, как сердечники они усиливали индуктивность соленоидов. Каждый сердечник в сжатой поролоновой обкладке вставлялся внутрь соответствующего соленоида вдоль центральной оси каркаса. До-

полнительные грузы опыта 10 массой 0,6 г по-прежнему оставались прикрепленными на конце с соленоидами, при этом дополнительный груз противовеса, использованный в опыте 10, полностью заменялся новым – массой 9 г. Грузы создавали перевес соленоидов относительно горизонтали по направлению силы тяжести, что фиксировалось точкой лазерного луча на экране. Цепь замыкалась на ≈ 2 с, возросшее индуктивное сопротивление понизило силу тока до 35 А. Начиная с момента замыкания цепи, без видимой инерции, рычаг равномерно поднимал груз к горизонтальному положению, как показывало вертикальное перемещение точки на экране. До выключения тока точка проделывала путь сверху вниз $\approx 2,5$ см. После выключения тока движение точки на экране сразу прекращалось, оставаясь четко фиксированным в первый момент. Через небольшой промежуток времени, пока зависший рычаг еще не проявлял возвратное движение, выполнялось повторное включение тока на ≈ 2 с. С момента второго включения, практически без инерции, конец рычага с соленоидами и грузом продолжил равномерно подниматься. От своего второго положения точка на экране перемещалась вниз по вертикали $\approx 2,5$ см, точно так, как она перемещалась из исходного положения при первом замыкании цепи. После выключения тока движение рычага и точки на экране прекращалось, оставаясь в начальный момент четко фиксированным. Через некоторое время соленоиды с грузом начинали опускаться. Возврат в исходное, бывшее до первого замыкания цепи, положение на этот раз длился больше 10 мин.

Движение по направлению «кажущегося восстановления веса» отличалось несколько возросшей по сравнению с опытом 10 инерционностью! Вследствие увеличения начального веса, без учета искомой вертикальной составляющей, действовавшей против силы тяжести, должно было бы быть наоборот, – предмет большего веса труднее удерживать от свободного падения.

Численная оценка действия на соленоиды против силы тяжести. Условность этой оценки оговаривается ниже. При ее выполнении формально предполагается, что в опыте 11 начальное и конечное положение продольной оси рычага строго горизонтально, размеры и веса плеч совпадают. Иными словами, предполагается, что рычаг ведет себя как коромысло идеальных рычажных весов: какой груз положен на одну чашу весов, такой требуется положить и на другую, – для уравнивания рычага в горизонтальном положении.

В этих предположениях действие против силы тяжести соленоидов оценивается элементарно, но приближенно. Наклонное положение рычага возникало от дополнительного к соленоидам груза суммарной массой 12,1 г. На другом конце рычага действовал дополнительный к противовесу груз массой 9 г. Для выравнивания продольной оси рычага по горизонтали требовалось уравновесить их разность 3,1 г. Уравновешивающий груз с такой массой можно добавить к противовесу. С другой стороны, напротив, его можно отнять от веса соленоидов с дополнительным грузом. Последняя операция численно эквивалентна «кажущемуся уменьшению веса» их обмотки. Суммарная длина обмотки двух соленоидов составляла 40 м и имела массу 58 г. В принятых предположениях «кажущееся уменьшение веса» обмотки эквивалентно потере $\frac{3,1}{58} \approx \frac{1}{19}$, или $\approx 5,34\%$ от ее исходного веса.

С точностью до погрешности входных данных, действие вертикальной составляющей против силы тяжести эквивалентно $\approx 5,3\%$ потере веса обмотки.

Оценка снизится, если предполагать, что наряду с обмоткой сердечника соленоидов также «теряли вес». Тогда действие вертикальной составляющей будет количественно эквивалентно потере $\frac{3,1}{69,5} \approx \frac{1}{23}$, точнее $\approx 4,46\%$ их общего исходного веса, или, с округлением, $\approx 4,5\%$.

Численное значение оценки условно в силу приближенности, практической невыполнимости формальных предположений, а также в силу ряда неучтенных физических воздействий. Так, не учтена неточность геометрического положения, инертность компонентов, вес и размеры плеч рычага. При проведении опытов по бифилярной схеме «кажущееся уменьшение веса» было относительно малым. Тем не менее действием на подводящие ток сдвоенные провода можно пренебречь лишь весьма условно. Помимо того, не учтено влияние теплового потока воздуха, внутренних и внешних механических и электромагнитных возмущений.

Формальная оценка могла бы возрасти при учете инертности каркаса, подводящих ток проводов, корпуса рычага. Чтобы переместить их из наклонного положения противоположно силе тяжести, необходимо преодолеть суммарную инертность (общая масса рычага с парой соленоидов без дополнительных грузов и противовесов составляла 185 г). На самом деле, инертность компенсировалась упругим натяже-

нием резинового подвеса, которое создавало устойчивое положение вынужденного наклонного равновесия. Чтобы подняться в горизонтальное положение, рычаг преодолевал практически скомпенсированную инертность, ею допустимо пренебречь.

Для полученной оценки принципиально, что потенциальное снижение эффекта от возмущений заведомо восполняется ступенчатыми «снижениями веса» при периодически повторяемых включениях тока. Вопрос о том, какого предельного значения может достигнуть «кажущееся уменьшение веса» соленоидов при продолжении ступенчатых переключений тока, остается открытым. Оценка может оказаться нижней границей «снижения веса».

Выполнялся ещё один опыт для выяснения вклада сердечников в «кажущееся уменьшение веса» соленоидов.

Опыт 12. Сохранялись все компоненты схемы опыта 11 за исключением следующих. С соленоидов снимались шайбы, и вместо стальных сердечников внутрь их каркасов по отдельности вкладывались две одинаковые деревянные палочки суммарной массой 16,7 г. Подвешенные по схеме предыдущего опыта соленоиды с дополнительным грузом уравнивались с помощью противовеса, чтобы продольная ось рычага располагалась по горизонтали. После этого с противовеса снимался груз массой 4 г. Создавался перевес соленоидов, фиксируемый точкой на экране: расстояние от точки горизонтального равновесия до точки перевеса составило 11,2 см.

С помощью различных комбинаций уравнивающих и дополнительных грузов можно было бы проверить, что возврат в горизонтальное положение требовал бы снятия с соленоидов груза именно массой 4 г. Чтобы не нарушить особенности подвеса, в данном случае такая проверка не выполнялась.

Вначале ток был включен и сразу выключен для контроля параметров, при этом он составил 50 А (увеличение произошло вследствие частичной потери индуктивного сопротивления после изъятия стальных сердечников). Точка на экране успела снизиться на 1 см. Затем ток был уменьшен до 37 А и «ступенчато» включался на ≈ 2 с три раза с паузами $\approx 4,5$ с.

В результате качественно воспроизводился эффект предыдущего опыта, включая зависания, однако возникли отличия. Расстояние на экране между двумя первыми переключениями (после начального) было меньше ≈ 2 см (возможно, от потери вклада в индуктивность стальных сердечников, но не исключено, что от понижения

силы тока). После третьего переключения оно возросло и продолжило расти без дополнительных включений тока – рычаг перешел через горизонтальное положение и непосредственно перевесился до упора противоположно силе тяжести соленоидов. Предположительно, повлияло начальное включение тока 50 А, а в заключительной стадии – механический момент, создаваемый токосъемниками.

Опыт 12 показал, что действие против силы тяжести в опыте 11 происходило не по причине намагничивания сердечников. В количественном эквиваленте действие против силы тяжести в опыте 12 равнялось снижению веса обмотки соленоидов на $\approx \frac{4}{58}$, или $\approx 6,9\%$.

Результаты изложенных опытов косвенно сопоставимы с наглядной оценкой прототипа – непосредственно в опыте М. Фарадея рычажок весов и прикрепленный к нему проводник при прохождении тока поднимались на $\approx 2,54$ см.

О природе «изменения веса» в опыте Фарадея. В предположении, что причина действия против силы тяжести проводников заключается в индукции вихревых токов, эффект рассматриваемого опыта [1, с. 218] можно объяснить следующим образом. В момент замыкания цепи в проводнике возникала самоиндукция. Ее действие имело вертикальную составляющую, направленную против силы тяжести подвешенного проводника. В опыте Фарадея проводник был медным, он с большей инерционностью сохранял «кажущуюся потерю части веса», более инерционно (по сравнению с алюминиевым проводником) ее восстанавливал. Наглядно выраженное «уменьшение веса проводника» получалось потому, что дополнительно со стороны подвижных контактов на проводник против тяжести действовала выталкивающая сила ртути, возникшая вследствие электрокапиллярности. Таким образом, две силы складывались в одном направлении, противоположном силе тяжести. Не исключено, что с ними складывалась третья вертикальная составляющая, о которой Фарадей не пишет. Во второй половине статьи он более не упоминает о горизонтальном перемещении прямолинейного проводника под действием магнитного поля Земли. Между тем, если такое перемещение сохранялось, то оно создавало угловое натяжение шелковой нити от «чувствительного рычажка весов», которое необходимо имело вертикальную составляющую действия на проводник против силы тяжести. Это могло увеличивать высоту подъема проводника. Однако

рычажок не опускался, видимо, для «уменьшения веса» достаточно было первых двух сил, превосходящих в сумме третью.

Об аспекте связи гравитации и электромагнетизма. Вряд ли М. Фарадей случайно обратил внимание на «кажущееся уменьшение веса» проводника под действием электрического тока. Прежде данного опыта он провел серию экспериментов по поиску взаимодействия именно гравитации и электромагнетизма. Эта серия, по его признанию, не привела к положительному результату. Опыты серии и рассматриваемый опыт он объединял между собой. В заметке «О возможной связи тяготения и электричества» [7, с. 224] Фарадей пишет, что искал «на опыте доказательство связи между тяжестью и электричеством». Излагая суть экспериментов, окончившихся неудачей, он не относит к их числу опыт, которому посвящена настоящая статья. Однако в [1, с. 218] он говорит: «Как я писал на с. 211 этого тома, следует ожидать, что можно заставить провод, через который проходит ток гальванического электричества, подчиняться действию магнитных полюсов земли точно так же, как он подчиняется полюсам стержневого магнита. В последнем случае он вращается, а в первом он, как я предположил, будет менять свой вес; но попытки, которые я тогда делал для доказательства существования этого действия, оказались несостоятельными». Слова «будет менять свой вес» здесь не взяты в кавычки. Вероятно, все же, что Фарадей обратил внимание на неожиданное поведение проводника вследствие размышлений о связи гравитации и электромагнетизма. Это направление его исследований продолжает привлекать внимание [8].

В целом же, как хорошо известно, современные представления о связи гравитации и электромагнетизма не опираются на опыты Фарадея и исходят из положений теории гравитации [9]. Принятые положения формализованы на основе геометрии пространства, времени, тяготения в рамках общей теории относительности [10, 11]. Гипотетическая связь гравитационного и электромагнитного полей теоретически исследуется с помощью квантовых многомерных моделей [12–14]. Современное состояние исследований отличается высокой интенсивностью, приводит к уникальным экспериментам, включая открытие гравитационных волн [15]. Однако фокус исследований смещен на космические объекты [16]. Относительно физической природы гравитации макроскопических тел вопрос продолжает оставаться открытым. Экспериментально не исследована возможность изменения гравитационного поля тел

малых размеров в зависимости от взаимодействия с электромагнитным полем. Между тем М. Фарадей искал именно такое взаимодействие. Он опирался на модель близкодействия, согласно которой действие одного тела на другое передается через действие друг на друга элементов полей этих тел.

Элементы электромагнитного и гравитационного полей одного и того же тела, в данном случае проводника с электрическим током, могли бы взаимодействовать, если бы они имели одинаковую электромагнитную природу, а их объединение обладало бы различной структурой, соответственной разновидности поля. Структура поля здесь понимается как среднестатистическая взаимная ориентация элементов. В этом случае индукция электромагнитных вихрей могла бы нарушать структурные связи элементов поля гравитации (их взаимную ориентацию). В результате взаимодействие элементов с внешним гравитационным полем имело бы меньшую величину суммарного вектора, проявляющегося как вес проводника.

В макроскопическом пространстве элементы образуют статистически скомпенсированный электромагнетизм.

Физика не устанавливает принцип запрета на изменение гравитации отдельного макроскопического тела, и М. Фарадей мог быть первым, кто наблюдал это изменение в проводниках с электрическим током. Он оставил вопрос открытым, не имея на тот момент технических средств доказать факт этого изменения.

Из предложенного описания выполненных опытов следует, что сам по себе факт электромагнитной индукции не дает полного (гипотетического) объяснения наблюдавшихся особенностей поведения вертикальной составляющей. Этот факт может объяснять действия против силы тяжести разве лишь в момент самоиндукции при замыкании и разрыве цепи (опыты 1, 3, 5, 7). Но он не объясняет безынерционности и постоянства действия вертикальной составляющей против силы тяжести в зависимости от конфигурации соединения проводников, кроме того, инерционности возврата веса в опытах 2, 4, 6, а также в опытах 9–12. Необходимо принять во внимание, что в перечисленных опытах соленоиды были скреплены параллельно, а переменный ток, проходя в противофазе, имел частоту 50 Гц. Поэтому на элементы поля гравитации соленоидов оказывалось действие вихревых токов с периодическим постоянством при стандартной частоте. В результате возмущающее действие при прохождении тока было постоянным. Постоянство возмущаю-

щего действия могло приводить к гипотетическому изменению ориентации элементов и, соответственно, структуры поля гравитации соленоидов, а эффект изменения сам приобретал характер постоянства. Постоянное изменение наступало при максимальном сближении соленоидов в параллельном механическом скреплении. Без такого сближения эффект существенно ослаблялся (опыт 8). На практике нет технической необходимости для такого скрепления соленоидов, поэтому ослабленный эффект изменения веса в обыденности мог не замечаться. Восстановление структуры поля гравитации проводников и соленоидов (их веса) после окончания электромагнитного возмущения, может быть само по себе инерционно, как всё, что связано с гравитацией.

Можно дополнить сказанное формализованными трактовками закона Кулона и закона всемирного тяготения на гипотетической модели близкодействия.

К выводу закона Кулона на модели близкодействия. Модель основана на предположении, что наименьшим элементом близкодействия электрического поля (а также магнитного поля и поля гравитации) является устойчивая вращающаяся электрон-позитронная пара. Электрон в паре представляет собой замкнутый тороидальный вихрь, направленный вдоль окружности как оси вращения. Предполагается, что в данном состоянии рассматриваемые элементарные частицы взаимодействуют так, как если бы сохраняли закономерности электромагнитных полей макроскопических объектов. Электрон в данном состоянии обладает свойством кругового витка постоянного тока и имеет два противоположных магнитных полюса. Позитрон в паре находится в аналогичном состоянии с такими же двумя магнитными полюсами. Предполагается, что оба вихря механически вращаются в одинаковом направлении в параллельных плоскостях, расстояние между которыми соизмеримо с радиусом оси вращения (рис. 6, а). В этом случае они сохраняют также свойства токов взаимно противоположного направления (рис. 6, б), поэтому обращены друг к другу одноименными магнитными полюсами. Одноименная магнитная полярность исключает дальнейшее сближение, этим исключена возможность аннигиляции в паре. На взаимное отталкивание ориентированы, кроме того, вихревые витки, которые вращаются в одинаковом направлении по поверхности торков. Это приводит к противоположности направлений элементов их токов на обращенных друг к другу сторонах (рис. 6). Электрон и позитрон пары притянуты друг к другу как разноименные электрические заряды.

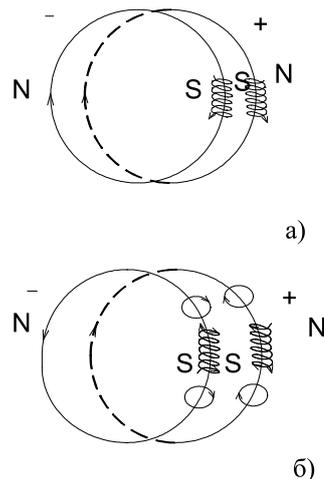


Рис. 6. Расположение магнитных полюсов в вихревой электрон-позитронной паре, механическая винтовая (а) и электрическая (б) ориентация вихревых витков на взаимное отталкивание

К предположению о существовании таких частиц можно дать следующее пояснение. Замкнутые электрон-позитронные вихри могли образоваться в момент зарождения вселенной. По известной теории вселенная представляла собой точечное образование сверхплотной бинарной жидкости. Затем последовал большой взрыв. В момент взрыва на сверхмалом пространстве замкнутые вихри формировались различными механическими способами, вихри электрона и позитрона оказались плотно прижатыми друг к другу. Те из них, которые при этом оказались взаимно обращены в паре противоположными магнитными полюсами, — аннигилировали. Сохранились лишь замкнутые вихри, свойства которых представлены выше.

Предполагается, что устойчивость паре придает сохраняемое в этом состоянии свойство электромагнитной индукции макроскопических объектов: индукция препятствует любому изменению магнитных полей круговых токов пары. Необходимо отметить некоторые особенности гипотетических пар. Они имеют диаметр существенно меньший диаметра свободного электрона. Это следует из того, что равнодействующая вихревых витков электрона (аналогично, позитрона) всегда направлена к центру оси вращения. Поэтому вихрь должен оказаться сжатым до «точечных» размеров. На относительно большом расстоянии пара воспринимается как электрически нейтральная (противоположные заряды складываются в нулевое действие). На таком же расстоянии пара

воспринимается как немагнитный объект (две пары противоположных магнитных полюсов сконцентрированы в одной «точке»). Поэтому рассматриваемый объект нейтрален по отношению к любому заряженному и намагниченному объекту, находящемуся на сравнительном удалении. Так, сдвоенный замкнутый вихрь должен восприниматься как электрически и магнитно нейтральный объект в межатомном и межмолекулярном пространстве, тем более, – на макроскопическом от него расстоянии. Поэтому объект не обнаруживает себя в известных взаимодействиях микро- и макромира. Следующее предположение заключается в том, что замкнутые сдвоенные электрон-позитронные вихри заполняют все вакуумное пространство вселенной, а также все свободное межатомное пространство вещества, где обладают «неограниченной» проникающей способностью. Вместе с тем на достаточно малом расстоянии друг от друга вихревые электрон-позитронные пары могут определять взаимную пространственную ориентацию. На их пространственную ориентацию влияет также заряд достаточно близко расположенного ядра атома и его магнитное поле. Аннигиляция различных пар исключена потому, что все они взаимно обращены одноименным магнитным полюсом. Это полюс один и тот же, – все те пары, у которых вовне был обращен противоположный полюс, аннигилировали.

При рассмотрении стационарного электричества замкнутые вихревые электрон-позитронные пары будут интерпретироваться как электрические диполи и обозначаться (e^-, e^+) . Пусть два точечных статических электрических заряда противоположных знаков величиной q_1 и q_2 располагаются в вакууме на неподвижных носителях на макроскопическом расстоянии R друг от друга, из них первый отрицателен и обозначается $-q_1$, второй положителен и обозначается $+q_2$. На заряд $-q_1$ в непосредственной близости от него диполи (e^-, e^+) реагируют, обращаясь к $-q_1$ положительным зарядом – позитроном e^+ . Аналогично, на заряд $+q_2$ в непосредственной близости от него диполи (e^-, e^+) реагируют, обращаясь к $+q_2$ отрицательным зарядом $-e^-$. В свою очередь каждый из диполей ориентирует соседний с ним диполь. В результате образуются силовые линии электрического поля между рассматриваемыми зарядами. Вдоль каждой силовой линии чередование зарядов примет вид

$$-q_1, (e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-), \dots, (e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-), +q_2. \quad (2)$$

Чередование (2) условно. Элемент силовой линии, предположительно, состоит из хаотичного набора подвижных электрон-позитронных вихрей, в котором доминирующая ориентация соответствует (2). Вероятность соответствия (2) любого сдвоенного вихря, принадлежащего силовой линии, в каждый момент времени больше $\frac{1}{2}$.

Модель близкого действия рассматривается в упрощенной форме. Пусть все силовые линии двух рассматриваемых зарядов попарно симметричны относительно линии центров. Симметричные элементы проектируются на линию центров так, что сумма проекций соответствует (2) (проекции векторов обратных направлений взаимно уничтожаются с проекциями векторов продолжений таких силовых линий до границ линии центров). В результате любой сколь угодно малый элемент суммы проекций всех силовых линий соответствует (2). Суммарный элемент действия единичного заряда вдоль линии центров обозначается df , где $f = f(r)$ – сила притяжения элемента к единичному заряду в составе $-q_1$ на расстоянии r от этого заряда. Реальное действие передается от одного такого элемента к другому, однако передача действия на конечный заряд, очевидно, будет терять величину на каждом передаточном элементе. Ниже принимается, что потеря действия обратно пропорциональна кубу расстояния с экспоненциальным весом. Точнее, предполагается, что элемент действия единичного заряда в составе $+q_2$, на единичный заряд в составе $-q_1$ на расстоянии r от последнего имеет вид

$$df = \left(\frac{k}{r^2} \times \frac{1}{e^r} \right) dr, \quad (3)$$

где k, k_0 – некоторые постоянные (в дальнейшем согласуемые с законом Кулона). Из (3)

$$df = \left(-\frac{2k}{r^3 e^r} + \frac{kk_0}{r^4 e^r} \right) dr. \quad (4)$$

Согласно (4) сила действия одного рассматриваемого (единичного) заряда на другой (единичный) на расстоянии R между ними по абсолютной величине выразится как интеграл

$$f = \int_0^R \left(-\frac{2k}{r^3 e^r} + \frac{kk_0}{r^4 e^r} \right) dr.$$

Отсюда

$$f = \frac{k}{R^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{R}}} - \lim_{r_0 \rightarrow 0} \frac{k}{r_0^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{r_0}}}. \quad (5)$$

В (5) вычитаемый предел равен нулю. Окончательно,

$$f = \frac{k}{R^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{R}}}. \quad (6)$$

Из разложения экспоненты в ряд Лорана

$$e^{-\frac{k_0}{R}} = 1 - \frac{k_0}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{k_0}{R} \right)^2 - \frac{1}{2 \cdot 3} \left(\frac{k_0}{R} \right)^3 + \dots + (-1)^k \frac{1}{k!} \left(\frac{k_0}{R} \right)^k + \dots \quad (7)$$

с учетом знакопеременности ряда получится, что модуль разности между законом обратных квадратов (f_K) в канонической форме и выражением (6) составит

$$|f - f_K| = O\left(\frac{1}{R^3}\right). \quad (8)$$

Выражение (6) дает действие единичного заряда в составе $+q_2$ на единичный заряд в составе $-q_1$. Действие всех зарядов в составе $+q_2$ на единичный заряд в составе $-q_1$ увеличит правую часть (6) в q_2 раз, поскольку они действуют параллельно вдоль линии центров. Аналогично, эта сила увеличится в q_1 раз с учетом всех единичных зарядов в составе $-q_1$. В результате получается следующий аналог закона Кулона:

$$F_{q_1 q_2} = \frac{k}{R^2} \times \frac{q_1 \cdot q_2}{e^{\frac{k_0}{R}}}. \quad (9)$$

Поскольку R в (9) – макроскопическое расстояние, измеренное в единицах микромира, то в изложенных рассуждениях его можно считать «сколь угодно большим».

В этом случае $e^{\frac{k_0}{R}} \approx e^0 = 1$. Можно было бы это значение не учитывать, заменив единицей. Остается выбрать исходный коэффициент в виде $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, где ϵ_0 – электрическая

постоянная, чтобы получить закон Кулона. Нелишне, однако, заметить, что кулоновское выражение содержит проблему нуля в знаменателе: $F_{q_1 q_2} = k \times \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$. Если знаменатель стремится к нулю, сила взаимодействия любых двух конечных зарядов стре-

мится к бесконечности, в реальности такой феномен не наблюдается. В то же время выражение в форме (9) в пределе обращает эту силу в ноль на формально нулевом расстоянии между зарядами, что соответствует переходу к физическим параметрам и единицам измерения микромира.

Случай одноименных зарядов рассматривается аналогично, необходимые изменения не приводят к принципиальным затруднениям.

К выводу закона всемирного тяготения на модели близкого действия. Можно построить аналог вывода закона Кулона для гравитационного взаимодействия двух точечных тел массой m и M , если гипотезу о структуре вакуума распространить на структуру вещества. Будет предполагаться, что нуклоны атомных ядер состоят из таких же замкнутых вихревых электрон-позитронных пар, которые заполняют вакуумное пространство, в этом предположении нуклон имеет форму шара, замкнутые вихревые пары располагаются равномерно по его сферической поверхности. Пусть вначале рассматривается нейтрон. Его электрическую нейтральность обуславливает следующая особенность структуры. Оси вихревых электрон-позитронных пар нейтрона попарно повернуты друг относительно друга на 180° , чередуя на внешней стороне поверхности заряды $+$ и $-$ в порядке шахматной доски:

$$\begin{array}{cccc} + & - & + & - \\ - & + & - & + \\ + & - & + & - \\ - & + & - & + \end{array} \quad (10)$$

Под каждым $+$ из (10), расположенным на внешней стороне поверхности нейтрона, с обратной стороны этой поверхности, вдоль оси электрон-позитронной пары, располагается сдвоенный с ним $-$ и, аналогично, под каждым $-$ располагается сдвоенный с ним $+$. Оси располагаются радиально к центру нейтрона. Пары удерживаются на поверхности взаимным притяжением электрических зарядов, а также вихревых витков, которые в данном расположении направлены на притяжение на участках «касания». Кроме того, вихревые пары попарно чередуют смещение вдоль осей к центру нейтрона и обратно, усиливая взаимное притяжение за счет смещения внешних магнитных полюсов соседних пар к внутренним, им противоположным. Предполагается, что протон возникает из нейтрона вследствие того, что чередование (10) на поверхности нейтрона является

однажды нарушенным относительно расположения отрицательных зарядов:

$$\begin{array}{cccc}
 + & - & + & - \\
 - & + & - & + \\
 + & - & (-) & - \\
 - & + & - & +
 \end{array} \quad (11)$$

Соседние отрицательные заряды выталкивают лишний заряд (-), восстанавливая расположение (10). Но тогда на поверхности остается нескомпенсированный позитрон с зарядом (+) в состоянии устойчивого замкнутого вихря. В результате нейтрон распадается на протон и электрон, протон остается с зарядом по модулю равным заряду позитрона. Эта реакция известна как β -распад – в свободном состоянии нейтрон примерно через 15 мин распадается на протон, электрон и электронное антинейтрино: ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + e^- + \bar{\nu}_e$. После этого протон остается в абсолютно устойчивом состоянии.

Можно допустить, что в ядре атома образовавшийся заряд протона (+), будучи нескомпенсированным, ориентируется

на зону отрицательного участка поверхности нейтрона вокруг (-), как иллюстрирует (11). Все вместе это влечет особенности ядра, на основе которых объясняется равенство модулей зарядов протона и электрона, происхождение орбитальных электронов, равенство их количества числу протонов, наглядно объясняется естественная радиоактивность, с некоторыми оговорками – искусственная радиоактивность. Ниже эти аспекты не обсуждаются.

Принимается, что нейтроны и протоны (нуклоны) ядра с данной гипотетической структурой в непосредственной близости от себя ориентируют вихревые электрон-позитронные пары пространства. На поверхности нуклона присутствуют магнитные полюса одного типа (внешние полюса замкнутых вихревых пар). Пусть, условно, это полюса N , как на рис. 6. В этом случае ближайшая к полюсу N замкнутая вихревая пара пространства повернется вдвоенным внутренним полюсом S . В свою очередь, к ее вдвоенному полюсу S соседняя с ней пара повернется полюсом N . В продолжение процесса получится цепочка вида

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & N & & N & & N \\
 & & S & & S & & S \\
 (n) & N S S N & N S S N & \dots & N S S N & N S S N & N S S N (n). \quad (12) \\
 & & S & & S & & S \\
 & & N & & N & & N
 \end{array}$$

В скобках обозначено положение начального и конечного нуклона атомов двух тел, между которыми протянулась цепочка вдвоенных вихрей. Изображение (12) условно, как ранее изображение (2). На самом деле в промежутках между ортогональными комбинациями полюсов может оказаться не одна комбинация полюсов вихревой пары $NSSN$, а несколько таких последовательных комбинаций – по причине взаимной ориентации согласно зарядам по типу (2). Если эти заряды справа от ортогональной комбинации заканчивались знаком +, то наиболее вероятно, что слева цепочка продолжится знаком – вследствие притяжения противоположных зарядов. Однако притяжение зарядов ослаблено расстоянием, и не исключено, что комбинация полюсов $NSSN$ развернется на 180° . Это означает, что продольные элементы цепочки могут иметь различную ориентацию зарядов типа (2). В результате сила, с которой действует один элемент цепочки на конечный объект, будет существенно слабее (ввиду вероятного про-

тиводействия промежуточных элементов), чем это было в случае кулоновского взаимодействия. У протона образуются аналогичные цепочки, но среди них могут быть и те, которые начинаются с продольной (а не ортогональной) комбинации $NSSN$, по причине наличия у него заряда +. В дальнейшем цепочки примут вид, аналогичный (12).

Можно заметить, что расположение вдоль поверхности нуклона комбинаций полюсов вида (12) делает нейтрон объектом со скомпенсированным магнетизмом, а протон – со скомпенсированным в некотором соответственном приближении.

За силовую линию гравитации точечного тела принимается комбинация замкнутых вихревых электрон-позитронных пар, образующих цепочку вида (12). В реальности у цепочки могут быть ответвления, продольные ортогональные комбинации полюсов. Это дополнительно ослабляет передачу действия вдоль силовой линии. Как и в случае электростатических силовых линий, элемент силовой линии гравитации состоит

из хаотичного набора подвижных замкнутых электрон-позитронных вихрей, в котором доминирующая магнитная ориентация соответствует (12). Действие всегда направлено на взаимное притяжение начального и конечного объектов, вероятность нахождения любого элемента силовой линии в положении из (12) в каждый момент времени больше $\frac{1}{2}$.

Наименьшие элементы силовых линий статического электричества и гравитации в данных предположениях одни и те же, механизм передачи действия от элемента к элементу сохраняется, передача действия в этих двух полях различается только значениями коэффициентов пропорции. Можно повторить рассуждения, проделанные для закона Кулона, заменив заряды $-q_1$ и q_2 на два точечных тела, с массами m и M , на макроскопическом расстоянии R друг от друга. Пусть сила притяжения их компонентов единичной массы обозначена F . Элемент действия единичной массы из состава m на единичную массу из состава M на расстоянии r от последней имеет вид, аналогичный (3). Поэтому, аналогично (4), можно записать

$$dF = \left(-\frac{2K}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{KK_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr, \quad (13)$$

где K и K_0 не определенные постоянные. Из (13) следуют аналоги (5), (6). В результате

$$F = \frac{K}{R^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{R}}}. \quad (14)$$

Отсюда, по аналогии с (9),

$$F_{mM} = \frac{K}{R^2} \times \frac{m \cdot M}{e^{\frac{k_0}{R}}}. \quad (15)$$

Из соображений, которые приводились для закона Кулона, R можно считать сколь угодно большим, измеренным в единицах микромира, значение $e^{\frac{k_0}{R}}$ можно приближенно заменить единицей. Остается априори выбрать $K = \gamma$, где γ – гравитационная постоянная, чтобы получить закон всемирного тяготения: $F_{mM} = \gamma \times \frac{m \cdot M}{R^2}$. Но, как и в случае закона Кулона, в этом случае не решается проблема нуля в знаменателе: два тела конечной массы в реальности не притягиваются с бесконечной силой на нулевом расстоянии друг от друга. В то же время формула (15) в пределе обращает эту силу

в ноль с переходом к физическим параметрам и расстояниям микромира.

По аналогии с (6)–(8), можно утверждать, что модуль разности между канонической силой притяжения $F_{mM(grav)}$ и получаемой из (15) имеет порядок $O\left(\frac{1}{R^3}\right)$. Взяв аналог ряда Лорана (6) для экспоненты в рассматриваемом случае, можно получить оценку

$$|F_{mM} - F_{mM(grav)}| = O\left(\frac{1}{R^3}\right) + O\left(\frac{1}{R^4}\right). \quad (16)$$

Конкретные значения коэффициентов в правую часть (16) подставляются, на основе данного аналога ряда (6). Скорректированная запись закона всемирного тяготения примет вид

$$F_{mM} = \gamma \times \frac{m \cdot M}{R^2} + \frac{k_2}{R^3} + \frac{k_3}{R^4}. \quad (17)$$

Форму закона (17) предлагал использовать Ньютон, на этой форме настаивал Даламбер, такую форму дважды использовал Клеро для вычисления аномалий лунной орбиты [17]. На основе аналога (6) можно получить дополнительные уточнения правой части (17).

Нельзя не отметить другие важные аналоги предложенной модели. Существование электрон-позитронных пар как среды вакуума предполагалось в «дырочной» теории П. Дирака. С поправкой Г. Вейля электрону с отрицательной энергией в структуре вакуума соответствовал позитрон с положительной энергией. В этом аспекте не исключено, что уравнения квантовой механики могут модифицироваться с сохранением интерпретаций и выводов, если электрону и позитрону приписать рассмотренные закономерности. Трактовка электрона и позитрона как устойчивой пары с нейтральным в сумме зарядом и магнитным полем позволяет обойти проблему нулевого заряда вакуума, как и проблему аннигиляции, не известную на момент создания теории Дирака.

В силу ориентируемости и близкодействия рассматриваемые электрон-позитронные пары вакуумного пространства определяют среду передачи электромагнитных волн, на это почти непосредственно указывает распад кванта волны (γ -кванта) при столкновении с веществом на электрон и позитрон: $\gamma \rightarrow e^- + e^+$, хорошо известна также обратная реакция.

Помимо отмеченных аналогий, предположение о замкнутых вихревых электрон-позитронных парах приводит к трактовке механизма близкодействия в концепции

М. Фарадея. В аспекте проделанных опытов трактовка позволяет понять механизм изменения поля гравитации при взаимодействии с электромагнитным полем: если эти поля состоят из одинаковых элементов, то возмущение посредством электромагнитной индукции положения элементов в силовых линиях нарушает взаимную ориентацию элементов и структуру поля. Соответственно увеличиваются потери количества действия при передаче от элемента к элементу, в сумме уменьшается сила гравитационно-притяжения.

Об уточнении опытов. В какой мере достоверно изложенное ранее объяснение описанных опытов – вопрос дальнейших исследований. Целесообразно выполнить эксперименты с проводниками, обладающими меньшим удельным весом, например, из сплавов алюминия и бериллия (для увеличения отношения силы тока к удельному весу). По схеме рычажных весов (опыты 4–7) такие эксперименты можно провести в вакуумном боксе на большом удалении от источников электромагнитных наводок. Необходимо выяснить особенности поведения тяжелых проводников, например, из меди, золота и тяжелых сплавов (для этого подойдет схема опытов 9–12). Не исключено, что последние могут интегрировать эффект не только по длине, но и по весу проводника, или особо проявлять инерционные свойства. Необходимо выяснить, как влияют на эффект различные комбинации частоты тока, включая сверхвысокую частотность, сплавы и композиты с наибольшим проявлением вихревых токов электромагнитной индукции. Требуется исследовать различные (в том числе длительно повторяющиеся) периоды замыкания цепи в ступенчатых эффектах снижения веса.

Заключение

Исследования опытов М. Фарадея с «кажущимся изменением веса» проводников при прохождении электрического тока проводились с целью показать независимость этого явления от внешнего электромагнетизма, воздушной конвекции и побочных эффектов, включая электрокапиллярность в области подвижного контакта. Экспериментально показано, что в доступных условиях устойчиво воспроизводится реальное действие на проводники и соленоиды с переменным током, направленное против силы их тяжести. Выделена вертикальная составляющая действия, механически эквивалентная уменьшению их веса при про-

хождении тока. Это действие количественно равносильно снижению более $\approx 4,5\%$ веса обмотки соленоидов. В границах применения элементарных технических средств были устранены внешние и местные действия, которым можно было бы приписать уменьшение тяжести проводников и соленоидов, но это явление продолжало устойчиво сохраняться. Можно предположить, что М. Фарадей наблюдал реальное изменение веса проводников, а в описанных экспериментах наблюдалось реальное изменение веса соленоидов.

Список литературы

1. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 538 с.
2. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера: 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 1983. 400 с.
3. Ромм Я.Е. О возможном изменении веса проводников при прохождении через них электрического тока. I. ТРТИ. Таганрог, 1987. 33 с. Деп. в ВИНТИ 3.12.87, № 8498-B87.
4. Ромм Я.Е., Ерохин Н.Ф. Нарушение положения покоя пары уравновешенных соленоидов при прохождении по ним переменного тока. ТГПИ. Таганрог, 2014. 24 с. Деп. в ВИНТИ 24.06.2014, № 178-B2014.
5. Ромм Я.Е., Ерохин Н.Ф. Видоизменения опыта Фарадея по влиянию земного магнетизма на проводники с током с механическим проявлением уменьшения веса. Таганрог: ин-т имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)». Таганрог, 2016. 42 с. Деп. в ВИНТИ 12.08.2016, № 108-B2016.
6. Ромм Я.Е., Ерохин Н.Ф. О «кажущемся изменении веса» в опытах Фарадея по влиянию земного магнетизма на проводники с электрическим током // Sciences of Europe. 2017. Т. 1. № 14. Р. 86–98.
7. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 836 с.
8. Andrew N. Adler. Michael Faraday's Electrogravity. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.scribd.com/doc/58504789/> (дата обращения: 16.08.2020).
9. Иваненко Д.Д., Сарданавили Г.А. Гравитация. М.: Изд. ЛКИ, 2010. 200 с.
10. Александров А.Н., Вавилова И.Б., Жданов В.И. Общая теория относительности: признание временем. Киев: Наукова думка, 2015. 332 с.
11. Will C.M. The Confrontation between General Relativity and Experiment. Living Reviews in Relativity. 2014. Vol. 17. No. 4. DOI: 10.12942/lrr-2014-4.
12. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. М.: Физматлит, 2015. 528 с.
13. Kiefer C. Quantum gravity. International series of monographs on physics. 3rd edition. Oxford: Oxford University Press, 2012. P. xii, 393 p.
14. Modesto L. Super-renormalizable Multidimensional Quantum Gravity. Astron. Rev. 2013. Vol. 8. No. 2. P. 4–33.
15. Jorge L. Cervantes-Cota, Salvador Galindo-Uribarri, George F. Smoot. A Brief History of Gravitational Waves. Universe. 2016. Vol. 2. P. 22. DOI: 10.3390/universe2030022.
16. Бисноватый-Коган Г.С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М.: КРАСАНД, 2010. 376 с.
17. Идельсон Н.И. Этюды по истории небесной механики. М.: Наука, 1975. 496 с.

СТАТЬИ

УДК 330.4

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОХОДОВ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ГРУППАМИ НАСЕЛЕНИЯ В РОССИИ ЗА 2019 ГОД**Кузина Н.В.***ФГБОУ ВО «Российской академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Калужский филиал, Калуга, e-mail: knw-25@yandex.ru*

Проблема расслоения общества по доходам в настоящее время развития экономики России является достаточно острой. В связи с этим одной из важных задач системы государственного управления в России должно быть преодоление социального неравенства в стране. Другими словами, успешность государственной политики зависит в той или иной мере от распределения доходов между группами населения в стране. Поэтому для анализа дифференциации доходов населения важны показатели, оценивающие степень дифференциации. Одним из методов оценки дифференциации дохода между разными группами населения является кривая Лоренца. Кривая Лоренца – это статистическая зависимость между долей дохода, которая приходится на различные процентные группы населения. В данной статье проведена оценка распределения совокупного дохода между 20-процентными группами населения в России за 2019 г. Для этого построена кривая Лоренца, т.е. графическое изображение зависимости между долей дохода, которая приходится на различные процентные группы населения. Для количественного измерения степени неравенства дохода найден коэффициент Джини. Коэффициент Джини является статистическим показателем, оценивающим экономическое равенство. Для нахождения коэффициента Джини проведено аналитическое выравнивание кривой Лоренца методом регрессионного анализа и найдена площадь криволинейной трапеции с помощью интегрального исчисления функции одной переменной.

Ключевые слова: кривая Лоренца, коэффициент Джини, распределение дохода между различными группами населения, регрессионный анализ, площадь криволинейной трапеции

ESTIMATION OF INCOME DISTRIBUTION BETWEEN DIFFERENT POPULATION GROUPS IN RUSSIA FOR 2019**Kuzina N.V.***Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Kaluga Branch, Kaluga, e-mail: knw-25@yandex.ru*

The problem of stratification of society by income is currently quite acute in the development of the Russian economy. In this regard, one of the important tasks of the public administration system in Russia should be to overcome social inequality in the country. In other words, the success of public policy depends to some extent on the distribution of income among the population groups in the country. Therefore, indicators that assess the degree of differentiation are important for analyzing the income differentiation of the population. One of the methods for estimating income differentiation between different population groups is the Lorentz curve. The Lorentz curve is a statistical relationship between the share of income that falls on different percentage groups of the population. This article estimates the distribution of total income among 20 percent of the population in Russia for 2019. For this purpose, the Lorentz curve is constructed, i.e. a graphical representation of the relationship between the share of income that falls on different percentage groups of the population. The Gini coefficient was found to quantify the degree of income inequality. The Gini coefficient is a statistical measure of economic equality. To find the Gini coefficient, an analytical alignment of the Lorentz curve was performed using regression analysis and the area of a curved trapezoid was found using the integral calculus of a function of one variable.

Keywords: Lorentz curve, Gini coefficient, income distribution between different population groups, regression analysis, curved trapezoid area

Наиболее важными источниками социальной напряженности в любой стране многие исследователи считают экономические проблемы: повышение цен, безработица, низкая оплата труда, разница в доходах населения страны. Данные проблемы исторически являются одними из важнейших вопросов экономики. Успешность государственной политики зависит в той или иной мере от распределения доходов между группами населения в стране. Другими словами, преодоление социального неравенства должно являться одной

из главных задач системы государственного управления России как социального государства [1].

Для того чтобы определить пути выравнивания уровней доходов государственной распределительной политики, могут быть использованы специальные методы измерения и количественной оценки дифференциации доходов.

Цель исследования: оценить распределение доходов между различными группами населения в России за 2019 г. с помощью метода оценки дифференциации дохода

между разными группами населения кривой Лоренца и измерить степень неравенства дохода количественно с помощью коэффициента Джини.

Материалы и методы исследования

Для анализа дифференциации доходов населения рассмотрим метод оценки распределения доходов – кривую Лоренца, которую разработал в 1905 году американский ученый М. Лоренц. Кривая Лоренца – это статистическая зависимость между долей дохода, которая приходится на различные процентные группы населения.

При построении кривой Лоренца, в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладываются процентные группы населения, по оси ординат – доли дохода, получаемые этими группами (рис. 1).

«М. Лоренц установил, что при равном распределении доходов 20% населения получают 20% всего дохода, 40% населения – 40% всего дохода» и т.д. [2] Таким образом, можно построить прямую *OA* (рис. 1), уравнение которой $y = x$ и которая отражает теоретическое абсолютное равенство распределения всего дохода.

Тогда ломаная *OCA* (рис. 1) отражает абсолютное неравенство, т.е. 20, 40, 60 и 80% населения не получают никаких доходов, 100% всего дохода присваивает одна группа населения – точка *C*.

В действительности же распределение доходов населения неравномерно, что и отражает функция $y = f(x)$ (рис. 1), т.е. кривая Лоренца. Вогнутость кривой Лоренца по-

зволяет судить о степени неравенства доходов в экономике [3].

Для функции $y = f(x)$ выделим следующие свойства:

1. Область определения функции $x \in [0; 1]$, область значения функции $f(x) \in [0; 1]$, где за 1 принимается 100% дохода, 100% населения.

2. Функция $f(x)$ возрастает на всей своей области определения, т.к. группа населения, относящаяся к более высокой процентной группе, будет получать большую часть всего дохода.

3. Функция $y = f(x)$ выпукла вниз на всей своей области определения и находится ниже отрезка *OA*. Иначе, чем ближе отклоняется кривая Лоренца в сторону оси *X*, тем в распределении доходов наблюдается большее неравенство.

Кривая Лоренца – это графическое изображение зависимости между долей дохода, которая приходится на различные процентные группы населения, а для того чтобы измерить степень неравенства дохода количественно, используют различные коэффициенты: коэффициент Джини и коэффициент Гувера.

В этой статье остановимся на нахождении коэффициента Джини, который является статистическим показателем, оценивающим экономическое равенство. Коэффициент Джини равен отношению площади фигуры, ограниченной прямой абсолютного равенства и кривой Лоренца, к площади фигуры, ограниченной прямой абсолютного равенства и ломаной абсолютного неравенства [2].

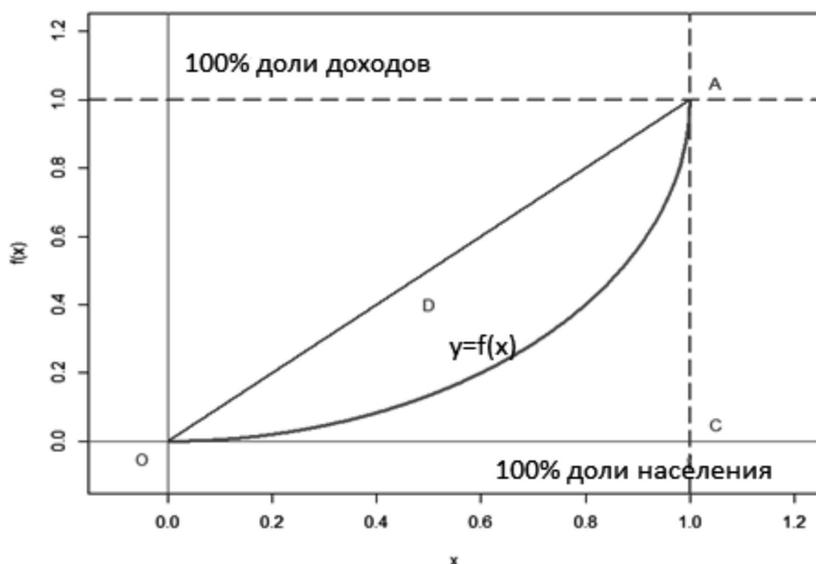


Рис. 1. Кривая Лоренца

Обозначим фигуру, ограниченную прямой $y = x$ и кривой Лоренца $y = f(x)$, через D (рис. 1). Тогда коэффициент Джини будет находиться по следующей формуле:

$$k = \frac{S_D}{S_{OAC}}.$$

Найдем площадь треугольника OAC , как площадь прямоугольного треугольника с катетами, равными 1. Следовательно, площадь треугольника OAC равна $\frac{1}{2}$. Тогда коэффициент Джини будет находиться по следующей формуле:

$$k = 2 \cdot S_D.$$

Исходя из полученной формулы, можно определить следующие свойства коэффициента Джини:

1) величина площади фигуры S_D находится в пределах $\left[0; \frac{1}{2}\right]$, тогда коэффициент Джини находится в интервале от 0 до 1;

2) если площадь фигуры S_D стремится к нулю, тогда кривая Лоренца приближается к прямой OA , т.е. доходы распределены более равномерно. Другими словами, когда доходы распределены более равномерно, коэффициент Джини стремится к нулю;

3) если площадь фигуры S_D стремится к $\frac{1}{2}$, тогда кривая Лоренца приближается к оси X , т.е. доходы распределены менее равномерно. Другими словами, когда доходы распределены неравномерно, коэффициент Джини стремится к единице;

4) исходя из п. 3 следует [4]:

- при коэффициенте, равном 0 – полное равенство в доходах населения;
- при значении коэффициента менее 0,3 – слабое неравенство в доходах населения;
- при 0,3–0,7 – значительное неравенство в доходах населения;
- при значении более 0,7 – сильное неравенство в доходах населения;

Таблица 1

Распределение общего объема денежных доходов по 20-процентным группам населения за 2019 г. в России [5]

20-процентные группы населения, %	Доход, %
0	0
20	5,3
40	15,3
60	30,3
80	52,9
100	100

– при коэффициенте, равном 1 – абсолютное неравенство в доходах населения;

5) если кривая Лоренца задана непрерывной функцией $y = f(x)$, то площадь области D находится как площадь криволинейной трапеции.

Согласно предварительным данным за 2019 г. дифференциация денежных доходов в России не изменилась, и распределение по 20-процентным группам осталось таким же, как и в 2018 г. (табл. 1) [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Преобразуем данные из табл. 1 в доли (табл. 2).

Исходя из данных табл. 2 кривая Лоренца имеет вид (рис. 2).

Оценим степень неравенства дохода с помощью коэффициента Джини. Для этого необходимо найти площадь области D , т.е. найти площадь криволинейной трапеции. Следовательно, кривую Лоренца необходимо представить в виде непрерывной функции.

Проведем аналитическое выравнивание кривой Лоренца методом регрессионного анализа. Так как кривая Лоренца – это статистическая зависимость двух признаков, для подбора вида уравнения регрессии используем графический метод. Он основан на поле корреляции. Используя данные, представленные в табл. 2, аппроксимируем их различными функциональными зависимостями и подберем ту, которая имеет наибольший коэффициент детерминации. В электронных таблицах воспользуемся командой «Добавить линию тренда» на гистограмме, отобразив уравнение тренда и коэффициент достоверности аппроксимации – коэффициент детерминации (рис. 3).

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9985$ показывает, что 99,85% вариации доли доходов объясняется вариацией процентной группы населения, а 0,15% приходится на долю прочих факторов.

Таблица 2

Распределение общего объема денежных доходов по 20-процентным группам населения за 2019 г. в России [5]

Доли населения	Доля дохода
0	0
0,2	0,053
0,4	0,153
0,6	0,303
0,8	0,529
1	1

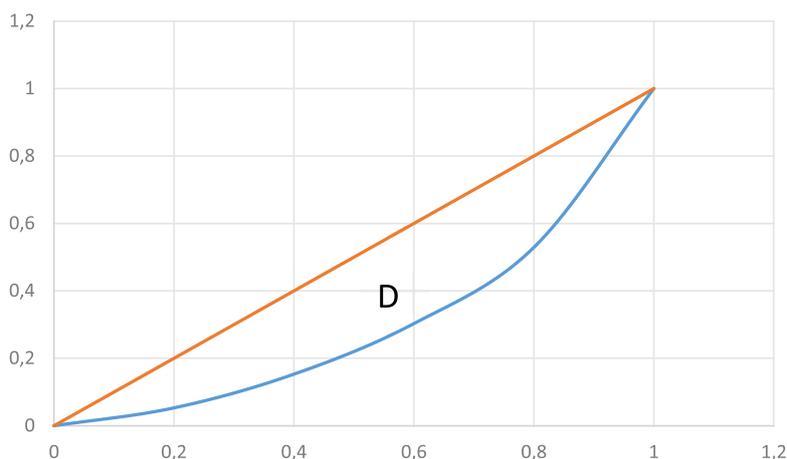


Рис. 2. Кривая Лоренца за 2019 г.

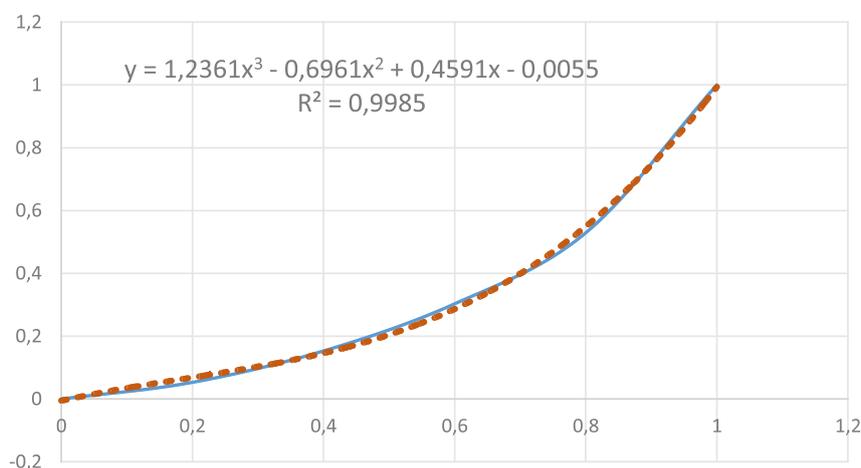


Рис. 3. Аналитическое выравнивание кривой Лоренца

С помощью F -критерия Фишера оценим качество построенного уравнения регрессии в целом. Для этого найдем фактическое значение F -критерия:

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot (n - 2) = \frac{0,9985}{1 - 0,9985} \cdot (6 - 2) = 2662,7.$$

Табличное значение F -критерия по таблице Фишера для числа степеней свободы $k_1 = 1$, $k_2 = n - 2 = 4$ и для уровня значимости $\alpha = 0,05$ равно $F_{\text{табл}} = 7,71$.

Исходя из того что $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, то построенное уравнение в целом является значимым. Следовательно, уравнение кривой Лоренца

$$y = f(x) = 1,2361x^3 - 0,6961x^2 + 0,4591x - 0,0055.$$

Далее найдем площадь области D как площадь криволинейной трапеции. Так как область D ограничена двумя кривыми, то для нахождения площади фигуры будем использовать формулу

$$S = \int_a^b (f(x) - g(x)) dx.$$

Исходя из того что область D ограничена прямой $y = x$ и кривой Лоренца $y = f(x)$ на отрезке $x \in [0; 1]$, тогда формула нахождения площади области D примет следующий вид:

$$S_D = \int_0^1 (x - f(x)) dx.$$

Подставим вместо $f(x)$ полученную ранее функцию для кривой Лоренца и вычислим определенный интеграл на отрезке $[0; 1]$:

$$\begin{aligned} S_D &= \int_0^1 (x - f(x)) dx = \int_0^1 (x - 1,2361x^3 + 0,6961x^2 - 0,4591x + 0,0055) dx = \\ &= \left(-1,2361 \frac{x^4}{4} + 0,6961 \frac{x^3}{3} + 0,5409 \frac{x^2}{2} - 0,0055x \right) \Big|_0^1 = \\ &= -1,2361 \cdot \frac{1}{4} + 0,6961 \cdot \frac{1}{3} + 0,5409 \cdot \frac{1}{2} - 0,0055 = 0,188. \end{aligned}$$

Следовательно, коэффициент Джина равен

$$k = 2 \cdot S_D = 2 \cdot 0,188 = 0,376.$$

Выводы

Учитывая свойства коэффициента Джини и исходя из того что он равен примерно 0,376, считаем, что это говорит о достаточно неравномерном распределении доходов среди населения в России в 2019 г. Другими словами, полученное значение коэффициента Джини говорит о том, что в стране необходимо активизировать государственную политику в части преодоления разницы в доходах населения страны.

Дифференциация доходов среди населения может быть измерена различными методами, отражающими не только степень неравенства доходов среди различных групп населения, но и более сложные подходы в определении потребительских возможностей получаемых доходов. Также и для измерения величины денежного дохода существуют различные подходы. Поэтому для выявления самой проблемы экономического неравенства доходов населения достаточно найти, например, коэффициент

Джини, а для более комплексного изучения вопроса социальной напряженности в стране, конечно, нужно рассмотреть и другие методики оценки распределения доходов среди населения.

Список литературы

1. Бикеева М.В. Статистический анализ дифференциации доходов и уровня бедности населения Российской Федерации // Экономические исследования и разработки. 2018. № 2. С. 38–46.
2. Громыко Г.Л., Матюхина И.Н. Об использовании коэффициента Джини в экономико-статистических исследованиях // Вопросы статистики. 2015. № 9. С. 56–66.
3. Ляликова Е.Р. Геометрические приложения определенного интеграла в задачах о добавочной выгоде производителя и потребителя и при нахождении коэффициента Джини // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 8–13. [Электронный ресурс]. URL <https://moluch.ru/archive/103/23903> (дата обращения: 17.07.2020).
4. Ахтямов А.М. Математика для социологов и экономистов: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 464 с.
5. Мониторинг социально-экономического положения и социального самочувствия населения: итоги 2019 года. Апрель 2020 / Под ред. Л.Н. Овчаровой. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 44 с.