

**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 = 0,564

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,312

№ 3 2022

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. Алоев 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 = 0,564.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,312.

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

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

Адрес редакции и издателя: 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 Е.Н. Доронкина

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

Подписано в печать – 31.03.2022

Дата выхода номера – 29.04.2022

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. 9,25

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2022/3

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ

- ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОЖЖЕВЫХ ОРГАНИЗМОВ
Ананьева Е.П., Богданова О.Ю., Гурина С.В. 7
- БИОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН
И СТИМУЛЯЦИИ РОСТА КОРМО-БОБОВЫХ КУЛЬТУР
Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Татаркина Л.Г. 12

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ

- КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС
И МАРКЁРЫ ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ ВЕНТИЛЯТОР-АССОЦИИРОВАННЫХ
ПНЕВМОНИЯХ У НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ
Боконбаева С.Дж., Насирдинов Ф.Р., Ким Е.Г. 18
- УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ
В МНОГОПРОФИЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ
*Иманкулова А.С., Джумалиева Г.А., Маанаев Т.И.,
Боронбаева Э.К., Орозалиева Б.К., Кульжанова А.А.* 27
- ЧАСТОТА РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИЙ МОЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ
В ХИРУРГИЧЕСКОЙ УРОЛОГИИ
*Кожомкулова К.А., Иманкулова А.С., Усупбаев А.Ч., Маанаев Т.И.,
Кабаев Б.А., Садырбеков Н.Ж., Осмон уулу Айбек* 32
- ОСОБЕННОСТИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ОТВЕТОВ
ПРИ РЕАЛЬНОМ И ВООБРАЖАЕМОМ ДВИЖЕНИИ У ПАЦИЕНТОВ
С НАЛИЧИЕМ И ОТСУТСТВИЕМ АСПОНТАННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ
ПОСЛЕ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ
*Шарова Е.В., Каверина М.Ю., Кулева А.Ю., Болдырева Г.Н.,
Смирнов А.С., Жаворонкова Л.А., Купцова С.В., Трошина Е.М.* 37

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ

- МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ
НА ЯЗЫКЕ RUPYTHON
Барганалиева Ж.К., Султанбаева Г.С., Асанбекова Н.О. 45
- РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ
Павлычева Е.А. 49
- МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕСНЫХ МАШИН
Тимохова О.М., Кручинин И.Н., Тимохов Р.С. 54

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**УТОЧНЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА ПРИ СИНТЕЗЕ ГОЛОГРАММ
МЕТОДОМ ЛОМАНА

*Тультемирова Г.У., Шаршеева К.Т., Аккозов А.Д.,
Алымкулов С.А., Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М.* 59

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**СВОЙСТВА ИОН-ИМПРИНТИРОВАННОГО СОРБЕНТА,
НАСТРОЕННОГО НА ИОН Cr^{6+}

Касымова Э.Дж., Турсуналиева К.С., Кыдралиева К.А. 65

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
РАСТЕНИЯ *LEPIDIUM RUDERALE*

Шертаева Н.Т., Шаграева Б.Б., Кыбраева Н.С., Битурсын С.С. 70

CONTENTS
BIOLOGICAL SCIENCES
ARTICLES

THE EFFECT OF MICROWAVE RADIATION TREATMENT MODES
ON THE CHARACTERISTICS OF YEAST ORGANISMS

Ananeva E.P., Bogdanova O.Yu., Gurina S.V. 7

BIOLOGICAL METHOD OF INCREASING GERMINATION OF SEEDS
AND STIMULATION OF GROWTH OF FORAGE-LEGUMES

Smirnova I.E., Baymakhanova G.B., Fayzulina E.R., Tatarkina L.G. 12

MEDICAL SCIENCES
ARTICLES

CLINICAL FEATURES, IMMUNOLOGICAL STATUS
AND MARKERS OF INFLAMMATION
IN VENTILATOR-ASSOCIATED PNEUMONIA IN NEWBORNS

Bokonbaeva S.Dzh., Nasirdinov F.R., Kim E.G. 18

QUALITY MANAGEMENT OF MEDICAL CARE
IN A MULTI-SPECIALITY HOSPITAL

*Imankulova A.S., Dzhumaliev G.A., Maanaev T.I.,
Boronbaeva E.K., Orosaliev B.K., Kulzhanova A.A.* 27

THE INCIDENCE OF URINARY TRACT INFECTIONS
IN SURGICAL UROLOGY

*Kozhomkulova K.A., Imankulova A.S., Usupbaev A.Ch., Maanaev T.I.,
Kabaev B.A., Sadyrbekov N.Zh., Oskon uulu Aybek* 32

PECULIARITIES OF FMRI RESPONSES DURING REAL
AND IMAGINARY MOVEMENTS IN PATIENTS WITH AND WITHOUT
BEHAVIOR ASPONTANEITY AFTER TRAUMATIC BRAIN INJURY

*Sharova E.V., Kaverina M.Yu., Kuleva A.Yu., Boldyreva G.N.,
Smirnov A.S., Zhavoronkova L.A., Kuptsova S.V., Troshina E.M.* 37

TECHNICAL SCIENCES
ARTICLES

MODELING OF LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS IN PYTHON

Barganaliev Zh.K., Sultanbaeva G.S., Asanbekova N.O. 45

DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITION FOR THE PRODUCTION
OF ELECTRICAL INSULATION COATINGS

Pavlycheva E.A. 49

METHODS FOR DETERMINING THE RELIABILITY OF FUNCTIONING
OF SOME MECHANICAL SYSTEMS FOR FOREST MACHINES

Timokhova O.M., Kruchinin I.N., Timokhov R.S. 54

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**ARTICLES**REFINEMENT OF THE PHASE SHIFT IN THE SYNTHESIS
OF HOLOGRAMS BY THE LOMAN METHOD

*Tultemirova G.U., Sharshееva K.T., Akkozov A.D.,
Alymkulov S.A., Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M.* 59

CHEMICAL SCIENCES**ARTICLES**PROPERTIES OF ION-IMPRINTED SORBENT TUNED TO CR⁶⁺ ION

Kasymova E.Dzh., Tursunaliyeva K.S., Kydraliyeva K.A. 65

QUANTITATIVE DETERMINATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE
SUBSTANCES OF PLANT *LEPIDIUM RUDERALE*

Shertaeva N.T., Shagraeva B.B., Kybraeva N.S., Bitursyn S.S. 70

СТАТЬИ

УДК 57.033

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОЖЖЕВЫХ ОРГАНИЗМОВ**

Ананьева Е.П., Богданова О.Ю., Гурина С.В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург,
e-mail: bogdiolg@yandex.ru

Исследование посвящено изучению воздействия СВЧ-излучения на микроорганизмы и является продолжением исследования по проведению многофакторного эксперимента изучения влияния режимов СВЧ-излучения на дрожжевые грибы, при проведении которого были отмечены области увеличения активности исследованных штаммов. В микробиологической практике СВЧ-обработка применяется как один из методов ингибирующего воздействия на микроорганизмы, однако может иметь и обратный эффект. Актуальность исследования продиктована необходимостью поиска внешних воздействий и их параметров для увеличения выхода клеток важных объектов биотехнологии и синтезируемых ими продуктов. В результате исследования подтвержден диапазон воздействия СВЧ-излучения при мощности работы магнетрона 600 Вт, при 6–7 с при температуре 29,3–30,1 °С, оказывающий положительный эффект усиления роста, значительного увеличения биомассы дрожжей, численности клеток и усиления биохимической активности дрожжей-продуцентов *Saccharomyces cerevisiae* и *Rhodotorula rubra*. При этом пигментирующие клетки дрожжей *Rh. rubra* отвечают на воздействие увеличением концентрации пигментов каротиноидов. Полученные результаты могут быть положены в основу стимулирования штаммов-продуцентов биологически активных веществ *Saccharomyces cerevisiae* и *Rhodotorula rubra* при подготовке их к промышленному применению.

Ключевые слова: дрожжевые грибы, активация роста и биохимической активности, диапазон СВЧ-излучения

**THE EFFECT OF MICROWAVE RADIATION TREATMENT MODES
ON THE CHARACTERISTICS OF YEAST ORGANISMS**

Ananeva E.P., Bogdanova O.Yu., Gurina S.V.

Saint Petersburg University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, e-mail: bogdiolg@yandex.ru

The study is devoted to the study of the effects of microwave radiation on microorganisms and is a continuation of the study of a multifactorial experiment to study the effect of microwave radiation modes on yeast fungi, during which areas of increased activity of the studied strains were noted. In microbiological practice, microwave treatment is used as one of the methods of inhibitory effects on microorganisms, but it can also have the opposite effect. The relevance of the study is dictated by the need to search for external influences and their parameters to increase the yield of cells of important objects of biotechnology and the products synthesized by them. The study confirmed the range of exposure to microwave radiation at a magnetron power of 600 W, at 6–7 s at a temperature of 29,3–30,1 °C, which has a positive effect of enhancing growth, a significant increase in yeast biomass, cell numbers and enhancing the biochemical activity of yeast producers *Saccharomyces cerevisiae* and *Rhodotorula rubra*. At the same time, pigmented yeast cells *Rh. rubra* respond to exposure by increasing the concentration of carotenoid pigments. The results obtained can be used as a basis for stimulating strains producing biologically active substances *Saccharomyces cerevisiae* and *Rhodotorula rubra* in their preparation for industrial use.

Keywords: yeast fungi, activation of growth and biochemical activity, microwave radiation range

Актуальность исследования продиктована необходимостью поиска внешних воздействий и их параметров для увеличения выхода клеток важных объектов биотехнологии и синтезируемых ими продуктов. Дрожжевые аскомицеты *Saccharomyces cerevisiae* являются широко используемым модельным организмом в генетических, иммунобиологических и биотехнологических исследованиях [1], и быстрое получение их культур является важным этапом в практике. Выделенные когда-то из водной среды дрожжевые базидиомицеты *Rhodotorula rubra* также представляют собой важный продуцент каротиноидов [2] и экзополисахаридов, имеющих фармакологическую ценность [3].

В микробиологической практике СВЧ-обработка применяется как один из методов ингибирующего воздействия на микроорганизмы. Однако при проведении многофакторного эксперимента [4] были обнаружены параметры воздействия СВЧ-излучения низкой мощности, активизирующие рост дрожжей *Sac. cerevisiae* и *Rh. rubra*. Были получены следующие параметры работы установки, при которых наблюдалась активация роста дрожжей: мощность излучения 600 Вт, температура разогрева взвеси дрожжей от 26,0 до 35,0 °С, время обработки от 5 до 8 с. Результаты многофакторного эксперимента были положены в основу настоящих исследований по определению оптимальных режимов

СВЧ-обработки с целью повышения активности штаммов-продуцентов.

Цель работы – изучить воздействие выбранных режимов СВЧ-обработки на рост и активность штаммов-продуцентов биотехнологических производств *Sac. cerevisiae* и *R. rubra*.

Материалы и методы исследования

Для обработки СВЧ-излучением низкой плотности мощности использовали культуры дрожжей *Sac. cerevisiae* ВКМ Y-378 и *Rh. rubra* ВКМ Y-341. Готовили взвеси дрожжей *Sac. cerevisiae* и *Rh. rubra* в физиологическом растворе массой $5,00 \pm 0,01$ г каждая в стеклянных пробирках. Перед обработкой определяли начальную температуру каждой пробирки с культурами ($22,1 \pm 0,1$ °С). Для культивирования обработанных и контрольных образцов использовали жидкую питательную среду бульон Сабуро объёмом 25 мл, куда добавляли по 1 мл взвеси дрожжей. Культивирование проводили в колбах объёмом 100 мл, в динамических условиях при частоте вращения колб $n = 100$ об/мин и температуре $23,0 \pm 0,1$ °С в биореакторе Sartorius Stedim CERTOMAT® STplus [5]. Для определения концентрации клеток в приготовленных взвесах культур и в культуральной жидкости при выращивании обработанных и контрольных образцов дрожжей, использовали метод прямого подсчёта клеток в счётной камере Горяева [6].

Концентрация взвеси дрожжей для обработки составила $6,7 \cdot 10^6$ КОЕ/мл. Увеличение биомассы фиксировали через 24 ч от начала культивирования. Определение концентрации биомассы дрожжей проводили через 48 ч от начала культивирования. Биохимическую активность клеток изучали при помощи теста силы подкисления. Данный тест косвенно указывает на скорость биохимических реакций

в клетках по скорости снижения рН в растворе глюкозы.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты изменения количества клеток дрожжей после обработки представили в табл. 1.

Установлено, что значительный прирост биомассы дрожжей наблюдался для всех опытов внутри оптимального диапазона по сравнению с контрольным образцом. При этом максимальное увеличение биомассы наблюдали в опыте № 2. Концентрация клеток в нём возросла до $24,3 \cdot 10^6$ КОЕ/мл, что в 2,7 раза больше, чем в контроле. Помимо указанных выше данных значительное увеличение количества клеток в культуральной жидкости наглядно продемонстрировано при микроскопии дрожжей (рис. 1). Данное наблюдение указывает на то, что СВЧ-излучение низкой мощности способно оказывать активизирующее влияние на скорость деления клеток. При подсчёте живых клеток определили, что наибольший процент их содержится в образцах № 1 и 2, что указывает на значимость влияния факторов времени и температуры воздействия на метаболизм исследуемых дрожжей.

Результаты определения биохимической активности клеток дрожжей представлены на рис. 2.

Снижение величины рН растворов происходит быстрее в опытах № 1 и 2, что указывает на большую биохимическую активность дрожжей при данных условиях обработки в сравнении с контролем. Следует отметить снижение метаболической активности культуры в опытах № 3 и 4.

На вторые сутки культивирования определяли количество биомассы дрожжей весовым методом после отделения клеток при помощи центрифугирования и высушивания их на воздухе (рис. 3).

Таблица 1

Параметры обработки и концентрация клеток дрожжей *Sac. cerevisiae*

Режим обработки	Температура нагрева, °С	Мощность работы магнетрона, Вт	Время обработки, с	Концентрация клеток		
				КОЕ·10 ⁶ /мл	Живые клетки, %	Мёртвые клетки, %
Контроль*	22,1±0,1	–	–	8,7	70,2	29,8
1	27,1±0,1	600	5	15,8	80,3	19,7
2	29,2±0,1		6	24,3	80,4	19,6
3	31,0±0,1		7	18,2	74,3	25,7
4	34,3±0,1		8	14,2	65,2	34,8

* – необработанный образец

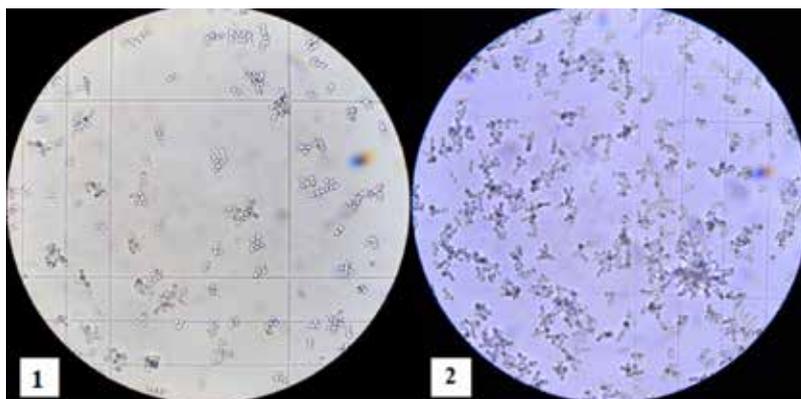


Рис. 1. Количество клеток дрожжей *Sac. cerevisiae*:
1 – контрольный образец, 2 – образец, обработанный в опыте № 2

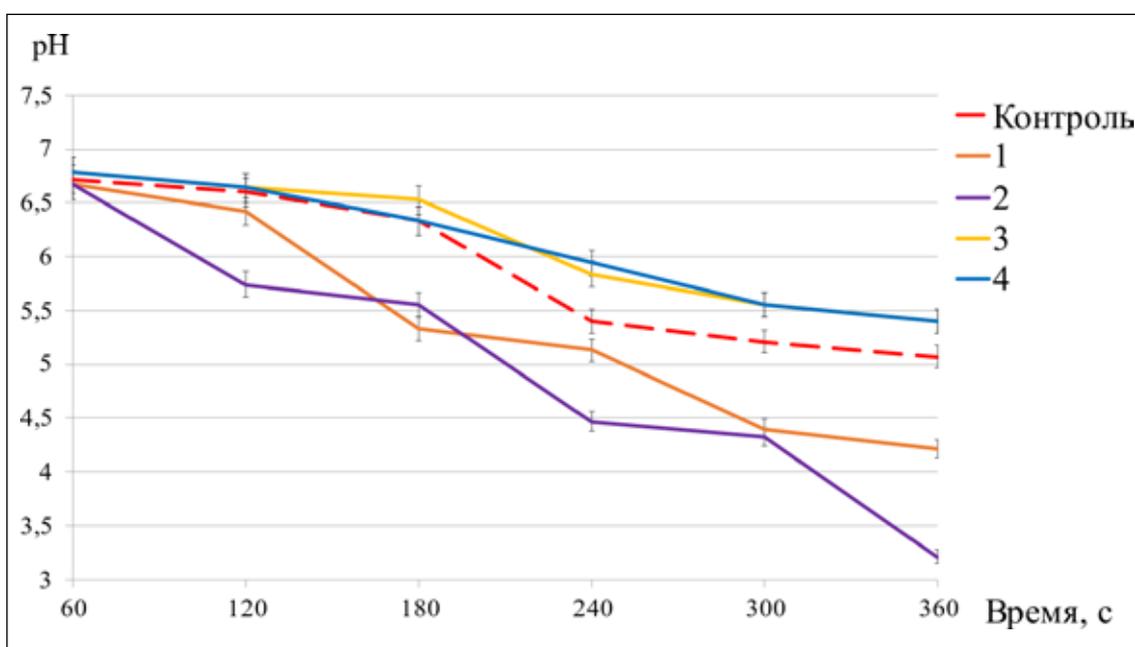


Рис. 2. Интенсивность снижения pH раствора глюкозы: 1–4 – номера опытов

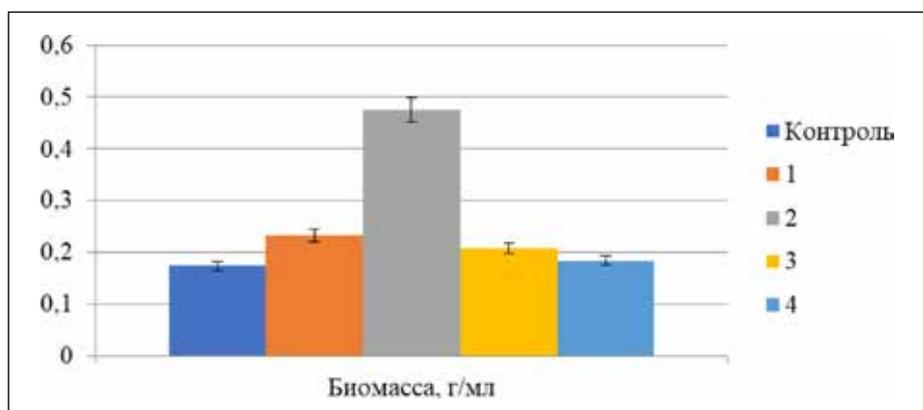


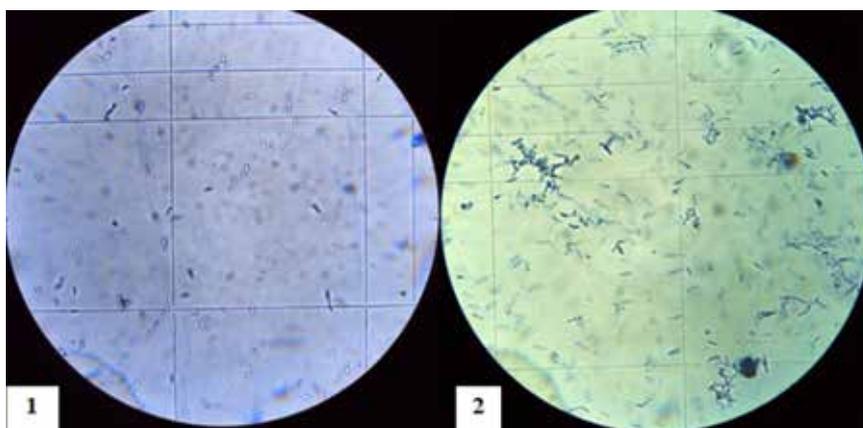
Рис. 3. Количество биомассы дрожжей *Sac. cerevisiae*

Таблица 2

Оптимальные параметры СВЧ-обработки культуры *Rh. rubra*

Режим обработки	Температура нагрева, °С	Мощность работы магнетрона, Вт	Время обработки, с	Концентрация клеток		
				КОЕ·10 ⁶ /мл	Живые клетки, %	Мёртвые клетки, %
Контроль*	22,1±0,1	–	–	6,2	68,1	31,9
1	26,0±0,1	600	5	17,1	77,2	22,8
2	29,3±0,1		6	23,0	78,7	21,3
3	30,1±0,1		7	21,0	70,1	29,9
4	35,4±0,1		8	17,4	64,7	35,3

* – необработанный образец

Рис. 4. Количество клеток дрожжей *Rh. rubra*
1 – контрольный образец, 2 – образец, обработанный в опыте № 2Рис. 5. Изменение пигментации дрожжей *Rh. rubra*
к – контроль, 1–4 – образцы, обработанные в опытах № 1–4 соответственно

Наибольшее количество биомассы образовывалось при температуре облучения $29,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$ и времени 6 с, что было больше, чем в контроле, в 2,8 раз, тем самым подтверждая ранее полученные результаты (рис. 2).

Результаты воздействия СВЧ-излучения низкой мощности на пигментированные дрожжи *Rh. rubra* представлены в табл. 2.

Значительное увеличение биомассы дрожжей наблюдали во всех обработанных образцах по сравнению с контролем.

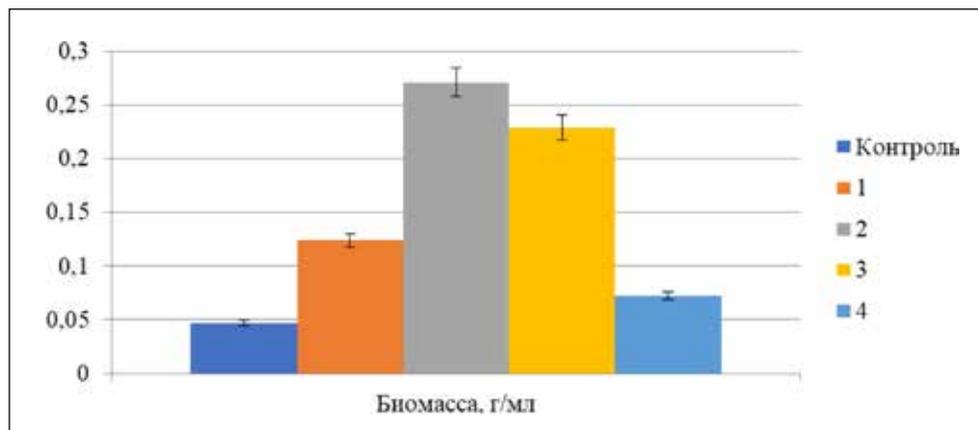


Рис. 6. Количество биомассы дрожжей *Rh. rubra*

При этом максимальный прирост биомассы наблюдали при температурах $29,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$ и $30,1 \pm 0,1^\circ\text{C}$, концентрация клеток в которых возросла в 3,7 и в 3,4 раз по сравнению с необработанным образцом. Также увеличение количества клеток продемонстрировано на рис. 4 при микроскопии.

При подсчёте живых клеток установили, что наибольший процент их содержится в образцах, обработанных при температурах $26,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ и $29,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (образцы № 1 и 2).

Также после обработки СВЧ-излучением в оптимальном диапазоне отметили усиление пигментации всех обработанных культур в сравнении с контролем, что косвенно указывает на увеличение биохимической активности клеток (рис. 5), что, вероятно, связано с откликом дрожжей *Rh. rubra* на воздействие излучения защитной реакцией увеличения синтеза пигментов-каротиноидов.

Выход биомассы дрожжей *Rh. rubra* определяли на вторые сутки культивирования (рис. 6).

Показано, что наибольший прирост биомассы соответствовал культурам, обработанным в диапазонах от $29,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (6 с) до $30,1 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (7 с). Концентрация биомассы в этих образцах оказалась выше в 5,7 и в 4,8 раз по сравнению с контролем.

Заключение

На основе анализа полученных результатов показано, что СВЧ-излучение низкой мощности оказывает стимулирующее действие на клетки дрожжей *Rhodotorula rubra* и *Saccharomyces cerevisiae* в определённых диапазонах обработки, а именно: мощность излучения 600 Вт, температура нагрева от $26,0$ до $35,0^\circ\text{C}$, время

обработки от 5 до 8 с. При этом диапазон усиления активности для исследуемых объектов не различался. Для обоих видов дрожжей стимулирующее воздействие СВЧ-излучения подтверждено в диапазоне мощности работы магнетрона 600 Вт, при 6–7 с при температуре не выше $30,1^\circ\text{C}$. Показано, что данные параметры обработки приводят к максимальному увеличению количества живых клеток дрожжей и их биохимической активности, что может быть использовано в перспективе для стимулирования промышленных штаммов-продуцентов БАВ *Saccharomyces cerevisiae* и *Rhodotorula rubra*.

Список литературы

1. Сербя Е.М., Соколова Е.Н., Фурсова Н.А., Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Курбатова Е.И., Куксова Е.В. Получение биологически активных добавок на основе обогащенной дрожжевой биомассы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 74–79.
2. Червякова О.П., Караулова С.С. Исследование каротиногенеза дрожжами *Rhodotorula rubra* // Успехи в химии и химической технологии. 2009. № 10 (103). С. 117–120.
3. Савчук А.В., Новик Г.И. Каротиноид синтезирующие дрожжевые грибы и их применение в биотехнологии (обзор литературы) // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2020. Т. 13. № 3 (49). С. 70–83.
4. Ананьева Е.П., Богданова О.Ю., Гурина С.В. Многофакторный эксперимент в определении оптимальных диапазонов СВЧ-излучения, активизирующих рост дрожжей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 1. С. 12–17.
5. Sartorius Stedim CERTOMAT® CTplus Specifications. [Электронный ресурс]. URL: <https://manualzz.com/doc/27881570/certomat-%C2%AE-ctplus> (дата обращения: 12.01.2022).
6. Кузнецова Т.А., Иванченко О.Б. Морфометрическое исследование клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* как метод оценки их физиологического состояния // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2020. № 1 (43). С. 39–46.

УДК 579.64

БИОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН И СТИМУЛЯЦИИ РОСТА КОРМО-БОБОВЫХ КУЛЬТУР**Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Татаркина Л.Г.***ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии», Алматы,
e-mail: iesmirnova@mail.ru*

Приоритетным направлением развития сельского хозяйства является животноводство, сдерживающим фактором которого является недостаточность кормовой базы. Основной кормо-бобовой культурой является люцерна (*Medicago sativa* L.), не менее важной культурой является донник (*Melilotus sp.*). Одним из путей увеличения производства кормов является повышение их урожайности. Однако при их выращивании существует проблема низкой всхожести семян. Для повышения всхожести применяются различные способы, наиболее часто применяют механическую скарификацию, которая требует специального оборудования, больших затрат энергии и труда. В этой связи разработка биологического способа повышения всхожести семян кормо-бобовых культур является актуальной. Целью исследования является изучение способности целлюлолитических бактерий повышать всхожесть семян, стимулировать рост и развитие донника и люцерны, отбор наиболее эффективных штаммов и разработка на их основе биологического способа. Объектами исследования служили целлюлолитические бактерии, выделенные из почв и целлюлозосодержащих растительных остатков (Алматинская область, Казахстан). В опытах использовали сорта донника «Аркас» и «Желтый» и люцерны «Семиреченская» и «Семиреченская новая». Полевые испытания проводили в Алматинской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской областях Казахстана, отличающихся по климатическим и почвенным условиям. В лабораторных и полевых опытах изучено влияние целлюлолитических бактерий на всхожесть семян, рост и развитие растений донника и люцерны. Установлено, что предпосевная инокуляция семян донника и люцерны повышает полевую всхожесть до 87,0% и существенно стимулирует их рост и развитие. При этом длина стеблей и корней этих культур увеличивается более чем в 2,0 раза. Отобраны три наиболее эффективных штамма целлюлолитических бактерий – два штамма для донника и один для люцерны. На основе этих штаммов целлюлолитических бактерий разработан биологический способ повышения всхожести семян, стимуляции роста и развития кормо-бобовых культур донника и люцерны.

Ключевые слова: целлюлолитические бактерии, штаммы, донник, люцерна, всхожесть, стимуляция, биологический способ

BIOLOGICAL METHOD OF INCREASING GERMINATION OF SEEDS AND STIMULATION OF GROWTH OF FORAGE-LEGUMES**Smirnova I.E., Baymakhanova G.B., Fayzulina E.R., Tatarkina L.G.***Research and Production Center for Microbiology and Virology LLC, Almaty,
e-mail: iesmirnova@mail.ru*

The priority for the development of agriculture is animal husbandry, the constraining factor of which is the lack of fodder. The main fodder crops are alfalfa (*Medicago sativa* L.) and sweet clover (*Melilotus sp.*). One way to increase forage production is to increase the yield. However, sweet clover and alfalfa have low seed germination. To increase the germination of seeds, various methods are used, the most commonly used is mechanical scarification, which requires special equipment, high energy and labor costs. In this regard, the development of a biological method for increasing the germination of seeds is relevant. The goal was to study the ability of cellulolytic bacteria to increase seed germination, stimulate the growth of sweet clover and alfalfa, select effective strains and develop a biological method. The objects of study were cellulolytic bacteria isolated from soils and cellulose-containing residues (Almaty region, Kazakhstan). The varieties of sweet clover “Arkas” and “Yellow” and alfalfa “Semirechenskaya” and “Semirechenskaya Novaya” were used. Field experiments were carried out in Almaty, Kyzylorda and East Kazakhstan regions with differ in climatic and soil conditions. In laboratory and field conditions, the effect of bacteria on germination, growth of sweet clover and alfalfa was studied. Pre-sowing inoculation increased field germination to 87.0% and stimulated plant growth (length stems and roots increased more than 2.0 times) was found. Three effective strains were selected (two strains for sweet clover and one for alfalfa). A biological method for increasing seed germination, stimulating the growth of sweet clover and alfalfa based on these strains was developed.

Keywords: cellulolytic bacteria, strains, sweet clover, alfalfa, germination, stimulation, biological method

Одним из приоритетных направлений развития сельскохозяйственного сектора во всем мире является животноводство, сдерживающим фактором развития которого является недостаточность кормовой базы [1]. Возможным путем решения этой проблемы является повышение урожайности кормовых культур [2]. Основной кормо-бо-

бобовой культурой является люцерна, которую возделывают на зерно и зеленую массу. Не менее важной культурой является донник, который хорошо растет и развивается на засоленных почвах и является перспективным фитомелиорантом. Трава люцерны и донника характеризуется высоким содержанием протеина, в состав которого вхо-

дят основные незаменимые аминокислоты (лизин, валин, триптофан, метионин и др.). Содержание этих аминокислот в белке донника и люцерны в 1,5–3,0 раза выше, чем в белке зерновых [3]. Также кормо-бобовые культуры активно фиксируют азот атмосферы и оставляют его с пожнивными остатками в почве (до 40–100 кг азота на гектар, что приравнивается к 10–20 т/га навоза) [4]. Можно сказать, что выращивание донника и люцерны способствует повышению плодородия почв, приводит к накоплению биологического азота и гумуса в почве и обеспечивает структурирование почвы [5]. В будущем эти культуры будут занимать ведущее место в органическом земледелии для поддержания плодородия почв [6].

Однако при выращивании этих культур существует проблема плохой всхожести семян, что связано с биологической особенностью их строения. Часть семян донника и люцерны (30–70%) имеет твердую, непроницаемую для воды оболочку, поэтому они не могут прорасти сразу после посева [7]. Это свойство называется твердокаменностью семян. Из-за твердой оболочки семена при высеве не дают дружных всходов, что создает разреженность посевов и значительно снижает урожайность зеленой массы этих культур с единицы площади [8].

Проблемой снижения твердокаменности семян кормо-бобовых культур занимаются США, Индия, Китай, многие страны Европы и Латинской Америки, Россия и др. Разработаны и применяются физические, химические и механические способы повышения всхожести семян этих культур [9, 10]. В сельском хозяйстве на практике наиболее часто применяют механическую скарификацию, при которой твердую оболочку семян разрушают, пропуская их через специальные машины-скарификаторы [11]. Этот метод требует специального оборудования, больших затрат энергии и труда. Кроме того, механическое воздействие вызывает повреждение не только оболочки, но и зародыша семени, что приводит к его поражению микробами, плесневению, загниванию проростков, и значительная часть посевного материала пропадает [12]. В этой связи разработка доступного, экологически чистого и эффективно-го способа повышения всхожести семян кормо-бобовых культур очень актуальна. Всем этим требованиям отвечает биологический способ повышения всхожести семян, основанный на использовании специально селекционированных микроорганизмов – целлюлолитических бактерий. Эти бактерии синтезируют особые ферменты – целлюлазы, которые частично

разрушают целлюлозу твердой оболочки семян, образуя в ней микротрещины. Нарушенная оболочка становится более легкой для прорастания зародыша, тем самым повышается всхожесть семян. Применение биологического способа более эффективно, чем механическая скарификация, так как бактерии обладают избирательным действием – частично разрушают только твердую оболочку и не повреждают семядоли и зародыш семян. Способ не требует специального оборудования и больших энергетических и материальных затрат.

Для разработки биологического способа необходимо изучить влияние целлюлолитических бактерий на всхожесть семян, стимуляцию роста и развития донника и люцерны и отобрать наиболее эффективные штаммы. На основе способа в дальнейшем планируется разработка биоудобрения для повышения всхожести семян и стимуляции роста кормо-бобовых культур. Созданное биоудобрение будет отвечать требованиям охраны окружающей среды и способствовать развитию органического сельского хозяйства, так как бактерии, входящие в его состав, являются естественными представителями почвы и участвуют в повышении ее плодородия.

Целью данного исследования является изучение способности целлюлолитических бактерий повышать всхожесть семян, стимулировать рост и развитие растений донника и люцерны, отбор наиболее эффективных штаммов и разработка биологического способа.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили целлюлолитические бактерии, выделенные из почв и целлюлозосодержащих растительных остатков, собранных на полях донника и люцерны в Алматинской области Казахстана в 2020 г. В опытах использовали два сорта донника «Аркас» и «Желтый» и люцерны (*Medicago sativa* L.) «Семиреченская» и «Семиреченская новая». Сорт «Аркас» относится к доннику белому (*Melilotus albus* Medik.) и характеризуется низким содержанием алкалоида кумарина, сорт «Желтый» относится к доннику лекарственному (*Melilotus officinalis* Pall.) и является отличным медоносом. Все сорта рекомендованы для выращивания в юго-восточном регионе Казахстана и широко используются фермерами.

Культивирование целлюлолитических бактерий проводили в жидкой селективной среде Гетчинсона на шейкере при 180 об/мин и на твердых питательных средах (среда Гетчинсона, МПА) при температуре 28°C.

Лабораторные опыты по изучению влияния целлюлолитических бактерий на всхожесть семян и рост растений донника и люцерны проводили в климатической камере роста (Constant Climate Chamber HPP-750, «Mettmert», Germany). Параметры режима камеры роста: световой день – 12 ч, температура 25 °С, освещенность: холодный белый свет 6500 К, теплый свет 2700 К; ночной режим – 12 ч; температура 15 °С, влажность 65%. Для обработки семян использовали бактериальные суспензии с титром 1×10^8 кл/мл из расчета 15 мл на 100 г семян. Время обработки семян при комнатной температуре составляло 2 ч. Контролем служили семена, замоченные в стерильной водопроводной воде. Семена высевали в сосуды с почвой на 250 мл. Количество семян составляло 7 растений на сосуд. Длительность опытов составляла 30 дней. Повторность опытов пятикратная. Всхожесть семян определяли посредством подсчета проросших семян в опытах и контроле. Оценку ростостимулирующего действия производили путем измерения длины стебля, корней, подсчета числа листьев на одно растение, обработанных бактериями, и сравнивали их с соответствующими показателями в контроле [13].

Полевые мелкоделяночные опыты проводили в трех областях Казахстана, отличающихся по климатическим и почвенным условиям (Алматинская, Кызылординская и Восточно-Казахстанская области). Семе-

на перед посевом обрабатывали суспензиями бактерий с титром 1×10^8 кл/мл, из расчета 200–250 мл на гектарную норму семян. Время обработки составляло 2 ч, температура 23–25 °С. Контролем служили семена без обработки.

Титр бактериальной суспензии определяли методом прямого подсчета при высеве на питательные среды [14].

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ «STATISTICA 10.0» [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Сбор образцов почв и целлюлозосодержащих остатков был проведен в 2020 г. на полях Алматинской области Казахстана, где выращивали донник и люцерну. В общей сложности было собрано 84 образца, из них выделены 54 чистые культуры целлюлолитических бактерий. Проведен первичный скрининг бактерий по признаку целлюлазной активности и отобрано шесть штаммов бактерий с высокой целлюлазной активностью (С-21(18)N, С-21N2, С-21(2)AS, С-22TN, С-182K, С-604N).

В лабораторных условиях были проведены опыты по изучению влияния отобранных штаммов целлюлолитических бактерий на всхожесть семян и стимуляцию роста донника и люцерны. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние целлюлолитических бактерий на всхожесть семян, рост и развитие донника и люцерны в лабораторных опытах

Варианты опыта	Всхожесть семян, %	Длина стебля, см	Длина корня, см	Кол-во листьев, шт.	Количество корней, шт.
Донник «Аркас»					
Контроль	36,3	7,8±0,1	6,1±0,03	2,3±0,1	1,0±0,1
С-21(18)N	77,1	14,8±0,2	14,3±0,2	2,9±0,1	2,7±0,2
С-21N2	83,8	15,4±0,3	15,5±0,2	2,9±0,2	1,8±0,1
С-182K	73,5	18,5±0,2	15,2±0,1	2,7±0,1	2,4±0,1
С-21(2)AS	76,8	12,9±0,1	12,5±0,1	2,9±0,1	1,2±0,1
С-22TN	80,6	14,8±0,2	15,4±0,1	2,3±0,1	1,2±0,1
С-604N	77,2	14,9±0,1	13,5±0,2	2,1±0,1	3,3±0,1
Донник «Желтый»					
Контроль	40,3	6,2±0,1	5,9±0,1	1,8±0,1	1,1±0,1
С-21(8)N	77,2	14,8±0,3	13,6±0,2	2,6±0,2	2,1±0,1
С-21N2	79,5	16,8±0,2	16,9±0,1	2,9±0,2	1,2±0,1
С-82K	80,1	16,1±0,3	16,7±0,1	2,8±0,2	2,6±0,2
С-21(2)AS	78,2	15,6±0,2	13,5±0,1	2,7±0,1	1,9±0,05
С-22TN	83,5	12,9±0,1	16,8±0,2	2,4±0,1	1,4±0,1
С-604N	77,3	16,3±0,2	13,1±0,1	3,1±0,2	3,8±0,2

Окончание табл. 1

Люцерна «Семиреченская новая»					
Контроль	51,3	7,0±0,1	6,5±0,1	2,0±0,1	1,2±0,1
C-21(18)N	85,2	14,7±0,2	13,8±0,2	2,4±0,1	1,6±0,1
C-21N2	90,3	17,2±0,3	16,4±0,1	2,9±0,2	1,8±0,1
C-182K	89,3	17,7±0,1	16,5±0,2	2,7±0,1	1,8±0,1
C-21(2)AS	87,5	16,7±0,3	15,8±0,3	2,7±0,2	2,5±0,1
C-22TN	90,1	13,9±0,2	16,8±0,2	2,6±0,1	2,9±0,2
C-604N	77,2	17,4±0,2	15,7±0,3	2,9±0,2	1,9±0,1
Люцерна «Семиреченская»					
Контроль	49,2	6,1±0,1	5,4±0,06	2,3±0,1	1,1±0,08
C-21(18)N	80,8	15,5±0,3	14,6±0,1	2,7±0,1	1,7±0,06
C-21N2	90,2	17,9±0,2	17,4±0,1	2,4±0,2	1,8±0,04
C-182K	87,3	17,8±0,2	17,9±0,2	2,5±0,1	1,9±0,05
C-21(2)AS	84,6	16,7±0,1	15,9±0,1	2,3±0,2	2,8±0,2
C-22TN	89,8	16,8±0,2	16,9±0,2	2,4±0,1	1,7±0,05
C-604N	79,6	14,9±0,2	14,7±0,2	2,6±0,1	1,8±0,04

Примечание. $p < 0,05$.

Таблица 2

Влияние целлюлолитических бактерий на всхожесть семян, рост и развитие донника и люцерны в полевых опытах

Варианты опыта	Всхожесть, %	Длина стебля, см	Длина корня, см
Донник «Аркас»			
Контроль	30,3	26,5±0,1	24,3±0,1
C-21(18)N	76,9	59,9±0,2	53,8±0,2
C-182K	78,2	63,2±0,3	55,4±0,2
C-22TN	60,0	59,2±0,2	45,5±0,1
Донник «Желтый»			
Контроль	28,9	25,2±0,3	24,5±0,1
C-21(18)N	77,9	58,9±0,2	54,4±0,1
C-182K	78,3	60,3±0,2	55,4±0,2
C-22TN	65,7	56,6±0,3	52,6±0,2
Люцерна «Семиреченская новая»			
Контроль	43,2	26,5±0,3	23,6±0,1
C-182K	87,6	60,6±0,2	47,5±0,2
C-22TN	64,3	57,4±0,2	45,8±0,2
C-21(2)AS	78,6	59,7±0,5	47,2±0,3
C-21N2	87,3	61,2±0,5	47,7±0,2
Люцерна «Семиреченская»			
Контроль	38,6	26,2±0,1	23,8±0,1
C-182K	87,6	62,3±0,3	50,7±0,2
C-22TN	80,7	58,7±0,2	47,3±0,2
C-21(2)AS	75,0	56,8±0,2	45,8±0,1
C-21N2	87,5	63,5±0,1	50,9±0,2

Примечание. Уровень доверительной вероятности $p < 0,05$.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что штаммы целлюлолитических бактерий значительно повышали всхожесть семян донника и люцерны. При этом всхожесть обработанных семян донника возросла до 83,8%, в контроле всхожесть донника сорта «Аркас» составляла только 36,3%, сорта «Желтый» – 40,3%. Обработка семян люцерны бактериями повышала их всхожесть до 90%, в контроле этот показатель у сорта люцерны «Семиреченская новая» составлял 51,3%, а у сорта «Семиреченская» – 49,2%. Также установлено, что обработка семян бактериями активно стимулировала развитие растений донника и люцерны. При этом длина стебля донника сорта «Аркас» увеличилась в 1,6–2,4 раза, корня – в 2,1–2,5 раза, длина стебля донника сорта «Желтый» – в 2,0–2,7, корня – в 2,2–2,9 по сравнению с контролем. Длина стеблей люцерны, обработанных бактериями, у сорта «Семиреченская новая» и «Семиреченская» увеличилась в 2,0–2,5 и 2,4–2,9 раза, корня – в 2,1–2,6 и 2,7–3,3 раза соответственно по сравнению с контролем. По результатам исследований были отобраны активные штаммы бактерий: три штамма (С-21(18)N, С-182К и С-22TN) для донника и четыре штамма (С-21N2, С-182К, С-21(2)AS и С-22TN) для люцерны.

Поскольку планируется применение биологического способа в полевых условиях с разными климатическими и почвенными характеристиками, полевые мелкоделячные опыты были проведены в трех областях Казахстана – Алматинской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской, существенно отличающихся по своим почвенно-климатическим условиям. Для инокуляции семян использовали шесть штаммов целлюлолитических бактерий, отобранных в лабораторных опытах. В табл. 2 приведены результаты наиболее эффективных штаммов целлюлолитических бактерий.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что полевая всхожесть семян донника сортов «Аркас» и «Желтый» была очень низкой – 30,3 и 28,9% соответственно. При обработке семян штаммами бактерий их всхожесть увеличилась до 78,2 и 78,6%. При этом длина стебля увеличилась в 2,2–2,4 раза, а корней – в 1,9–2,3 раза. Полевая всхожесть семян люцерны сорта «Семиреченская новая» составила 43,2%, а сорта «Семиреченская» – 38,6%. Обработка семян люцерны суспензией бактерий повысила их всхожесть до 87,6%. При этом длина стеблей сорта «Семиреченская новая» увеличилась в 2,2–2,3 раза, корней – в 1,9–2,0 раза, а длина стеблей сорта «Семиречен-

ская» – в 2,2–2,4 раза, корней в 1,9–2,1 раза по сравнению с контролем. Наиболее эффективно повышали всхожесть и стимулировали развитие донника штаммы С-21(18)N и С-182К, а люцерны – штамм С-21N2. Однако отмечено, что штамм С-182К также активно повышает всхожесть семян и стимулирует развитие люцерны, и его можно использовать под культуру люцерны.

Заключение

Таким образом, проведены лабораторные и полевые исследования по влиянию целлюлолитических бактерий на всхожесть, рост и развитие кормо-бобовых культур донника и люцерны. Установлено, что предпосевная инокуляция семян сортов донника и люцерны повышала их полевую всхожесть до 87,0% и существенно стимулировала их развитие. При этом длина стеблей и корней увеличивалась более чем в 2,0 раза. По результатам лабораторных и полевых испытаний отобраны три наиболее эффективных штамма целлюлолитических бактерий – два штамма для донника С-21(18)N и С-182К и один штамм для люцерны С-21N2. На основе этих штаммов целлюлолитических бактерий разработан биологический способ повышения всхожести семян, стимуляции роста кормо-бобовых культур донника и люцерны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, в рамках грантового проекта ИРН AP08855656.

Список литературы

1. Kulkarni K.P., Tayade R., Asekova S., Song J.T., Shannon J.G., Lee J.-D. Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. DOI: 10.3389/fpls.2018.01314.
2. Ingver A., Tamm Ü., Tamm I., Tamm S., Tupits I., Bender A., Koppel R., Narits L., Koppel M. Leguminous pre-crops improved quality of organic winter and spring cereals. *Biological Agriculture and Horticulture*. 2019. Vol. 35 (1). P. 46–60.
3. Blume L., Hoischen-Taubner S., Sundrum A. Alfalfa – a regional protein source for all farm animals. *Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems*. 2021. Vol. 71 (1). P. 1–13. DOI: 10.3220/LBF1615894157000.
4. Hua W., Luo P., An N., Cai F. Manure application increased crop yields by promoting nitrogen use efficiency in the soils of 40-year soybean-maize rotation. *Scientific reports*. 2020. Vol. 10. e14882. DOI:10.1038/s41598-020-71932-9.
5. Song Xin, Fang Chao, Yuan Zi-Qiang, Li Feng-Min. Long-Term growth of alfalfa increased soil organic matter accumulation and nutrient mineralization in a semi-arid environment. *Frontiers in Environmental Science*. 2021. Vol. 9. DOI: 10.3389/fenvs.2021.649346.
6. Kulkarni K.P., Tayade R., Asekova S., Song J.T., Shannon J.G., Lee J.D. Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 1314.

7. Игнатъев С.А., Регидин А.А., Грязева Т.В., Горюнов К.Н. Динамика изменения твердосемянности сортов люцерны в зависимости от сроков хранения семян // *Зерновое хозяйство России* 2019. № 6 (66). С. 46–49.
8. Kokonov S., Ryabova T., Votintsev A., Mokeeva S., Vorobyeva S., Esenkulova O. Influence of presowing seed treatment on the yield of variegated alfalfa and eastern galega. *Plant Science Today*. 2021. Vol. 8 (2). P. 250–254. DOI:10.14719/pst.2021.8.2.1000.
9. Maldonado-Arciniegas F., Ruales C., Caviedes M., Ramirez D.X., León-Reyes A. An evaluation of physical and mechanical scarification methods on seed germination of *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex. Willd.). *Acta Agronomica*. 2018. Vol. 67 (1). P. 120–125. DOI: 10.15446/acag.v67n1.60696.
10. Hu X., Yang L., Zhang Z., Wang Y. Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral imaging. *Seed Science and Technology*. 2020 Vol. 48. P. 83-99. DOI:10.15258/sst.2020.48.1.11.
11. Koobonye M., Maule B.V., Mogotsi K. Mechanical scarification and hot water treatments enhance germination of *Leucaena leucocephala* (Lam.) seeds. *Livestock research for rural development*. 2018. Vol. 30 (1). URL: <http://www.lrrd.org/lrrd30/1/kbmo30015.html>.
12. Ghaleb W., Ahmed L.Q., Escobar-Gutierrez A.J., Julier B. The history of domestication and selection of Lucerne: A new perspective from the genetic diversity for seed germination in response to temperature and scarification. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. e578121.
13. Посьпанов Г.С. *Растениеводство*. М.: Колосс, 2007. 612 с.
14. Нетрусов А.И., Котова И.Б. *Микробиология: теория и практика*. М.: Юрайт, 2019. 315 с.
15. Боровиков В.П. *Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA*. М.: Hotline-Telecom, 2016. 288 с.

КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И МАРКЁРЫ ВОСПАЛЕНИЯ ПРИ ВЕНТИЛЯТОР-АССОЦИИРОВАННЫХ ПНЕВМОНИЯХ У НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

Боконбаева С.Дж., Насирдинов Ф.Р., Ким Е.Г.

*Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек,
e-mail: sbokonbaeva@gmail.com, picaso-uz@mail.ru, el_kim2005@mail.ru*

В статье освещены региональные особенности клинического течения, состояние иммунного статуса и маркёров воспаления при вентилятор-ассоциированных пневмониях (ВАП) новорожденных детей. Изучены клинико-диагностические критерии тяжести и исхода заболевания у доношенных и недоношенных детей. Исследование проводилось на базе Городской детской клинической больницы скорой медицинской помощи (ГДКБСМП) (г. Бишкек) и в Городском перинатальном центре в отделении реанимации новорожденных. Обследован 181 новорожденный. Дети были разделены на 3 группы: 1-я основная группа – 64 доношенных новорожденных с ВАП, 2-я основная группа – 75 недоношенных новорожденных с ВАП, 3-я контрольная группа – 42 больных пневмонией новорожденных, не получивших ИВЛ. Всем детям проводился анализ периферической крови с подсчетом лейкоцитарной формулы и определением скорости оседания эритроцитов (СОЭ), С-реактивного белка, прокальцитонина. Статистическая обработка проведена при помощи стандартного статистического пакета SPSS-16. Неблагоприятный преморбидный фон у больных доношенных ВАП детей определяется ВПР и сочетанной патологией по сепсису, ЖДА. У недоношенных детей с ВАП сочетанная патология проявляется ВПР, сепсисом и недоношенностью. У доношенных новорожденных, в отличие от недоношенных, отмечается выраженный нейтрофилез со сдвигом лейкоформулы влево и ускоренное СОЭ ($p < 0,05$). Значительное повышение и торпидное снижение маркеров воспалительного процесса отмечено у недоношенных детей. Впервые выявлены различия в динамике маркеров умерших и выздоровевших больных. Выявленная гиперпродукция провоспалительных цитокинов на фоне не столь заметного повышения противовоспалительного цитокина IL-10 лежит в основе развития каскадной системной воспалительной реакции вплоть до инфекционно-токсического шока, сепсиса и полиорганных дисфункций. Кроме того, отмечается дисфункции гуморального звена иммунитета.

Ключевые слова: вентилятор-ассоциированная пневмония (ВАП), клиническая тяжесть ВАП, гнойно-воспалительные заболевания (ГВЗ), новорожденные, цитокины, иммуноглобулины, прокальцитонин, С-реактивный белок

CLINICAL FEATURES, IMMUNOLOGICAL STATUS AND MARKERS OF INFLAMMATION IN VENTILATOR-ASSOCIATED PNEUMONIA IN NEWBORNS

Bokonbaeva S.Dzh., Nasirdinov F.R., Kim E.G.

*Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek,
e-mail: sbokonbaeva@gmail.com, picaso-uz@mail.ru, el_kim2005@mail.ru*

The article highlights the regional features of the clinical course, the state of the immune status and markers of inflammation in ventilator-associated pneumonia (VAP) of newborn children. The clinical and diagnostic criteria of the severity and outcome of the disease in full-term and premature infants were studied. The study was conducted on the basis of the City Children's Clinical Hospital of Emergency Medical Care (GDKBSMP) in Bishkek and in the City Perinatal Center in the neonatal Intensive Care unit. 181 newborns were examined, divided into 3 groups: the 1st main group – 64 full-term newborns with VAP, the 2nd main group – 75 premature newborns with VAP, the 3rd control group – 42 newborn children with pneumonia who did not receive a ventilator. All children underwent peripheral blood analysis with calculation of leukocyte formula and determination of erythrocyte sedimentation rate (ESR), C-reactive protein, procalcitonin. Statistical processing was carried out using the standard statistical package SPSS-16. The unfavorable premorbid background in patients with full-term VAP children is determined by VPR and combined pathology of sepsis, IDA. In premature infants with VAP, the combined pathology is manifested by VPR, sepsis and prematurity. In full-term newborns, in contrast to premature infants, there is pronounced neutrophilosis with a shift of the leukoformula to the left and accelerated ESR ($p < 0.05$). A significant increase in u and a torpid decrease in markers of the inflammatory process were noted in premature infants. Differences in the dynamics of markers of deceased and recovered patients were revealed for the first time. The revealed hyperproduction of proinflammatory cytokines against the background of a not so noticeable increase in the anti-inflammatory cytokine IL-10, underlies the development of a cascade systemic inflammatory reaction up to infectious-toxic shock, sepsis and multiple organ dysfunction. In addition, there is a dysfunction of the humoral link of immunity.

Keywords: ventilator-associated pneumonia (VAP), clinical severity of VAP, purulent-inflammatory diseases (GVZ), newborns, cytokines, immunoglobulins, procalcitonin, C-reactive protein

Пневмония – тяжелое инфекционно-воспалительное заболевание, занимающее 80% в структуре легочной патологии с высокой летальностью детей, особенно недоношенных, новорожденных детей. В структуре неонатальной заболеваемости и смертности одно из ведущих мест занимают вентилятор-ассоциированные пневмонии (ВАП). Применение современных технологий в отделениях реанимации новорожденных в виде искусственной вентиляции легких (ИВЛ), катетеризаций центральных вен, парентерального питания, антибиотикотерапии увеличивает риск контаминации и способствует развитию ВАП [1]. В последние годы у новорожденных всё чаще стали регистрироваться пневмонии с крайне тяжелым и «молниеносным» течением и, несмотря на проводимую современную антибактериальную терапию, продолжает сохраняться высокий процент летальности [2–4]. Следовательно, изучение этиологической структуры, особенностей течения, клиники и лечения пневмоний у детей в современных условиях представляет большую теоретическую и практическую актуальность. Этиологией пневмонии могут быть как бактерии, так и вирусы и грибки. Клинические симптомы вирусной и бактериальной пневмонии схожи. Невозможно определить вид возбудителя пневмонии на основании клинических симптомов или рентгенологических изменений [5]. Согласно рекомендациям ВОЗ (Карманному справочнику), в условиях с ограниченными ресурсами критериями диагноза по клиническому течению классифицируется тяжесть пневмонии у детей. Для диагностирования тяжелой пневмонии у детей с жалобами на кашель или одышку клинически при осмотре врача должен быть по крайней мере один из следующих симптомов:

1. Централный цианоз или насыщение крови кислородом < 90% (по данным пульсоксиметрии).

2. Тяжелая дыхательная недостаточность (например, хрипящее дыхание или выраженные втяжения уступчивых мест грудной клетки).

3. Признаки пневмонии с системными опасными признаками: неспособность сосать грудное молоко или пить; вялость или отсутствие сознания; судороги.

4. Кроме этого, могут отмечаться некоторые или все признаки пневмонии (тахипноэ, аускультативные: ослабление дыхания, крепитация) [6].

Пневмонию у новорожденных могут вызывать бактерии, вирусы, грибки и паразиты. Однако возраст ребенка на момент начала пневмонии может помочь сузить спектр

пневмопатогенов, поскольку различные возбудители связаны с врожденной, ранней и поздней пневмонией. Но определение возбудителя нижних дыхательных путей остается острой проблемой. Центральная роль в регуляции иммунного ответа организма на внедрение патогенной флоры принадлежит провоспалительным цитокинам, стимулирующим местную воспалительную реакцию с продукцией медиаторов воспаления. При их гиперпродукции развивается каскадная системная воспалительная реакция вплоть до инфекционно-токсического шока, сепсиса, усиления прокоагулянтной активности и полиорган-ных дисфункций [7–9]. Ответной реакцией организма является выброс противовоспалительных цитокинов. Особенно важна роль противовоспалительного ИЛ-10, подавляющего продукцию всех провоспалительных цитокинов. Кроме того, ИЛ-10 может стимулировать синтез IgE, способствуя развитию гуморального иммунного ответа и аллергическую реактивность организма. ИЛ-10 обнаружен в материнском молоке и защищает новорожденных от синдромов воспаления кишечника [10, 11]. Таким образом можно заключить, что течение ВАП зависит от концентрации и соотношения про- и противовоспалительных цитокинов. Их высокий уровень может соответствовать тяжелому течению пневмонии [12–14]. Гуморальный иммунитет у новорожденных в основном представлен трансплацентарным переходом материнского иммуноглобулина G (IgG). Однако отмечают, что при инфекционно-воспалительных заболеваниях иммунная система новорожденного способна к компенсаторной реакции в виде стимуляции гуморального звена иммунитета. IgM [15]. Имеются данные о роли цитокинов и прокальцитонина в развитии осложненных пневмоний у детей раннего возраста. В клинической практике для диагностирования ВАП применяются биохимические маркеры воспалительного процесса: изменение в лейкоцитарной формуле крови, уровни прокальцитонина (ПКТ), С-реактивного белка (СРБ). Важно отметить, что при тяжелом течении пневмоний у детей прокальцитонин (ПКТ) обладает большей специфичностью, чем С-реактивный белок (СРБ) и лейкоцитарная формула, что актуально для ранней диагностики и назначения этиотропной терапии [16, 17].

Цель исследования – выявить особенности клинического течения, цитокиновый статус и маркеры воспаления при ВАП у доношенных и недоношенных новорожденных детей для совершенствования лечебно-профилактических мероприятий.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили на базе Городской детской клинической больницы скорой медицинской помощи (ГДКБСМП) (г. Бишкек) и в Городском перинатальном центре в отделении реанимации новорожденных. В соответствии с поставленной целью обследован 181 новорожденный. Дети были разделены на 3 группы:

1-я основная группа – 64 доношенных новорожденных с ВАП;

2-я основная группа – 75 недоношенных новорожденных детей с ВАП;

3-я контрольная группа – 42 здоровых новорожденных.

Тяжесть клинического течения ВАП и ДН оценивалась по Карманному справочнику ВОЗ (2012).

Нами разработана оценочная таблица тяжести клинического течения ВАП «Основные клинические критерии оценки тяжести ВАП у доношенных и недоношенных новорожденных детей» по ряду показателей.

1. По наличию неотложных признаков, к которым относят:

- нарушение проходимости дыхательных путей или остановка дыхания,
- тяжелая дыхательная недостаточность,
- центральный цианоз,
- симптомы шока,
- кома,
- судороги.

2. Степень тяжести ДН при пневмонии по Карманному справочнику ВОЗ (КС):

- раздувание крыльев носа,
- кивательные движения головы,
- учащенное дыхание (ЧД больше 70 в минуту),
- выраженное втяжение нижней части грудной клетки,
- стонущее дыхание,
- отказ от груди и еды,
- летаргичность или отсутствие сознания,
- степень сатурации: < 92 % и < 80 %.

3. Степени ДН также оценены по шкале Даунса.

4. Оценка реакции проведена по шкалам АГБО и Глазго и степени сатурации.

Наиболее значимыми критериями для оценки тяжести ВАП являются:

- наличие неотложных признаков,
- тяжелая ДН, оценка по шкале Даунса более 7 баллов,
- оценка БО по шкале АГБО,
- оценка 7–4 баллов по шкале ком по Глазго,
- сатурация менее < 92 %.

Всем детям в динамике при поступлении проводилось обследование маркеров воспаления и анализ периферической крови

с автоматическим гематологическим анализатором «HumaCaunt 80TS» (Германия) и «Mindray BC-2300» (Китай) с подсчетом лейкоцитарной формулы и определением скорости оседания эритроцитов (СОЭ).

Определение уровня С-реактивного белка проводилось на анализаторе «Mindray BA-88A». (Китай). Уровень прокальцитонина определялся на аппаратуре Wondfo (Китай).

Иммунологические исследования: проводилось определение содержания общих иммуноглобулинов разных классов (Ig M, G, A, E), цитокинов ИЛ-10, ИЛ-6 и ФНО. Использовались наборы: «Интерлейкин-6-ИФА-БЕСТ», «Интерлейкин-10-ФА-БЕСТ», «альфа-ФНО-ИФА-БЕСТ», «IgG общий-ИФА-БЕСТ», «IgM общий-ФА-БЕСТ», «IgE общий-ИФА-БЕСТ», «IgA общий-ИФА-БЕСТ» Исследование проводилось на оборудовании MR-96A Mindray (Китай). Вычисления проводились на электронной таблице Excel-2010 и статистическом пакете SPSS-16.

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении анамнеза заболевания установлено, что больные дети с ВАП чаще поступают в стационар на первой неделе жизни и госпитализируются в первые 1–2 дня заболевания с немедленным подключением ИВЛ. Недоношенные дети с ВАП на 1 сутки дольше находились в ОРН и на ИВЛ. Отмечена высокая летальность детей как доношенных (50,0%), так и недоношенных (50,0% и 53,33%, $p > 0,05$). При изучении анамнеза заболевания установлено, что больные дети с ВАП чаще поступают в стационар на первой неделе жизни, как доношенные ($p < 0,01$), так и в большей степени ($p < 0,001$) недоношенные. Новорожденные с ВАП чаще ($p < 0,01$) госпитализируются в первый день заболевания, а дети контрольной группы – позже, на третий и более дней заболевания ($p < 0,01$). Доношенные дети чаще поступают на первой неделе жизни ($p < 0,01$), недоношенные – в равном соотношении по всем возрастам ($p > 0,05$), а дети контрольной группы – в более старшем возрасте ($p < 0,01$). В большинстве случаев ($p < 0,001$) амбулаторного обследования не проводилось как у доношенных ($p < 0,05$), так у недоношенных ($p < 0,01$) детей. Только часть детей амбулаторно получали лечение по назначению врача. Недоношенные дети с ВАП на 1 сутки дольше находились в ОРН и на ИВЛ. Отмечена высокая летальность детей как доношенных (50,0%), так и недоношенных (53,33%), практически в равных ($p > 0,05$) соотношениях (табл. 1).

Таблица 1

Анамнез заболевания, исход

Группа	Доношенные	Недоношенные	Контрольная
Возраст			
Возраст			
С 1 по 7 день	45 (60%) **	31 (48%) ***	–
С 8 дней по 28 дней	9 (12%)	11 (17,19%)	6 (14,28%)
29 дней по 2 мес.	21 (28%)	22 (34,37%)	36 (85,72%)***
Итого	75 (100%)	64 (100%)	42 (100%)
Госпитализация			
1–2 день	40 (62,5%)**	48 (69,57%) **	5 (11,9%)
3 и более	24 (37,5%)	21 (30,43%)	37 (88,1%)
Дома не было:			
– обследования	60 (93,8%)**	74 (98,5%)***	41 (97,62)***
– лечения	33 (51,5%)*	48 (64,0%)**	14 (33,4)
Койко-дни:			
– в больнице	18,07	17,8	9,6
– в ОРН	12,89	13,8	3,05
– на ИВЛ	7,43	8,8	–
Исход:			
– летальный	32 (50%)	40 (53,33%)	–
– выздоровление	32 (50%)	35 (46,67%)	42 (100%)
Всего	64 (100%)	75 (100%)	42 (100%)



Рис. 1. Жалобы матерей доношенных и недоношенных новорожденных детей с ВАП

Типичные для пневмонии жалобы предъявляют матери всех детей с ВАП. Это повышение температуры тела, одышка, кашель, апноэ, отказ от груди, срыгивания, рвота. Однако у недоношенных детей имеются и атипичные жалобы матерей. Они в семь раз чаще жалуются на появление пены изо рта детей, реже ($p < 0,001$) отмечают гипертермия и кашель (рис. 1).

При сравнительном анализе клиники заболевания у доношенных и недоношен-

ных детей разработана оценочная таблица ключевых критериев тяжести заболевания. Установлено, что все критерии тяжести достоверно чаще отмечаются у недоношенных детей (табл. 2).

Сравнительный анализ клинической тяжести ВАП между доношенными и недоношенными детьми показывает, что тяжелая степень ВАП чаще ($p < 0,05$) отмечается у доношенных больных, а крайне тяжелая – чаще ($p < 0,01$) у недоношенных больных (рис. 2).

Таблица 2

Ключевые критерии оценки тяжести ВАП у новорожденных детей

Группа	Доношенные	Недоношенные	Итого
Неотложные признаки	57 (43,51%)	74 (56,49%)	131 (100%)
1. Тяжелая степень ДН	53 (46,49%)	61 (53,51%)	114 (100%)
2. Оценка ДН по Даунсу:			
2–3 балла (легкой степени)	11 (44%)	14 (56%)	25 (100%)
4–6 баллов (средней тяжести)	18 (50%)	18 (50%)	36 (100%)
7 баллов (тяжелой степени)	35 (44,87%)	43 (55,13%) *	78 (100%)
3. Оценка реакции по шкале АГБО:			
– А активное	7 (87,5%)	1 (12,5%)	8 (100%)
– Г реагирует на голос	9 (50%)	9 (50%)	18 (100%)
– Б реагирует на боль	23 (42,59%)	31 (57,41%)	54 (100%)
– О без сознания	25 (42,37%)	34 (57,63%) *	59 (100%)
4. Оценка степени комы по шкале Глазго:			
– 15 баллов – сознание ясное	7 (87,5%)	1 (12,5%)	8 (100%)
– 11–14 баллов – оглушение	10 (47,62%)	11 (52,38%)	21 (100%)
– 9–10 баллов – сопор	20 (58,82%)	14 (41,18%)	34 (100%)
– 7–4 балла – кома	27 (35,53%)	49 (64,47%) **	76 (100%)
5. Сатурация			
> 92%	7 (87,5%)	1 (12,5%)	8 (100%)
< 92%	34 (40,48%)	50 (59,52%) *	84 (100%)
< 80%	23 (48,94%)	24 (32%)	47 (100%)

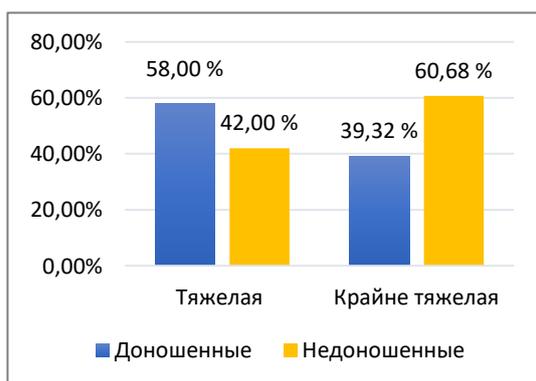


Рис. 2. Степень клинической тяжести ВАП у новорожденных детей

При изучении анализа крови установлено, что у больных при поступлении в отделение реанимации новорожденных (ОРН) отмечается умеренный лейкоцитоз ($p < 0,05$) практически в равных соотношениях ($p > 0,05$) между доношенными и недоношенными детьми, нейтрофилез со сдвигом влево и повышенная СОЭ, более выраженная у доношенных детей ($p < 0,05$). В динамике отмечается снижение уровня нейтрофилов на фоне роста лимфоцитов.

С-реактивный белок достоверно ($p < 0,001$) повышен у всех больных пневмониями детей. На первом этапе исследования наблюдается его 3–5-кратное повышение, особенно выраженное у недоношенных детей с ВАП. В дальнейшем идет снижение по-

казателя к концу пребывания в ОРН, более выраженное ($p < 0,01$) в контрольной группе больных (табл. 3).

В динамике заболевания уровень СРБ снижается, но наиболее значимо в контрольной группе ($p < 0,01$), далее ($p < 0,05$) – у доношенных детей, и остается практически на начальном уровне ($p > 0,05$) у недоношенных детей (рис. 3).

Выявлены значительные отличия в показателях СРБ у умерших и выздоровевших больных с ВАП. При поступлении уровень СРБ у умерших недоношенных достоверно выше, чем у доношенных больных (соответственно $28,36 \pm 1,45$ и $18,35 \pm 1,15$, $p < 0,05$). У выздоровевших больных уровень СРБ выше, чем у умерших, особенно в группе доношенных больных ($p < 0,05$). Однако нет достоверных различий ($p > 0,05$) в показателях СРБ между выздоровевшими доношенными и недоношенными больными (табл. 4).

Отмечаются различия и в динамике СРБ у умерших и выздоровевших больных. У выздоровевших больных уровень СРБ в динамике достоверно снижается ($p < 0,001$) и практически идентичен в обеих группах больных ($p > 0,05$). Иная динамика у умерших больных. К концу наблюдения уровень СРБ достоверно повышается ($p < 0,05$) в обеих исследованных группах. Однако в группе умерших недоношенных уровень СРБ достоверно выше ($p < 0,05$), чем в группе умерших доношенных больных (рис. 4).

Таблица 3

Средние показатели С-реактивного белка у детей

Группа	Доношенные	Недоношенные	Контроль	Норма
1 сутки	23,68±2,55***	29,05±2,97***	18,77±2,75***	0–5 мг/мл
3–5 сутки	19,18±1,63	26,69±2,66	11,08±2,18	0–5 мг/мл
К концу	18,42±1,98	26,28±2,36	7,66±0,72**	0–5 мг/мл

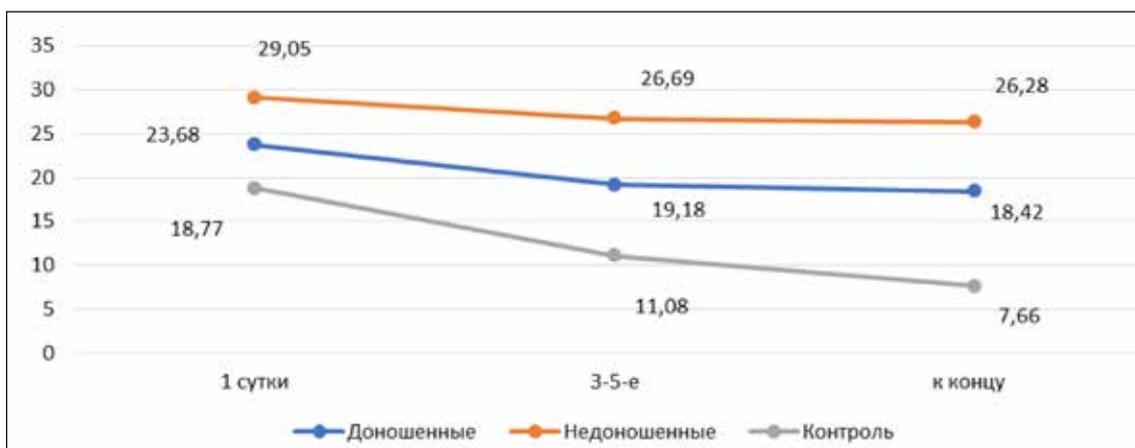


Рис. 3. Динамика СРБ у больных детей

Таблица 4

Сравнительные показатели С-реактивного белка у умерших и выздоровевших больных основных групп

Группа	Доношенные		Недоношенные	
	Умершие	Выздоровели	Умершие	Выздоровели
1 сутки	18,35±1,15	27,34±1,67	28,36±1,45	29,51±1,87
3–5 сутки	20,12±1,54	20,24±1,26	38,89±1,64	18,86±1,46
В конце	28,62±1,78*	6,75±1,12***	42,67±2,98*	8,42±1,26***

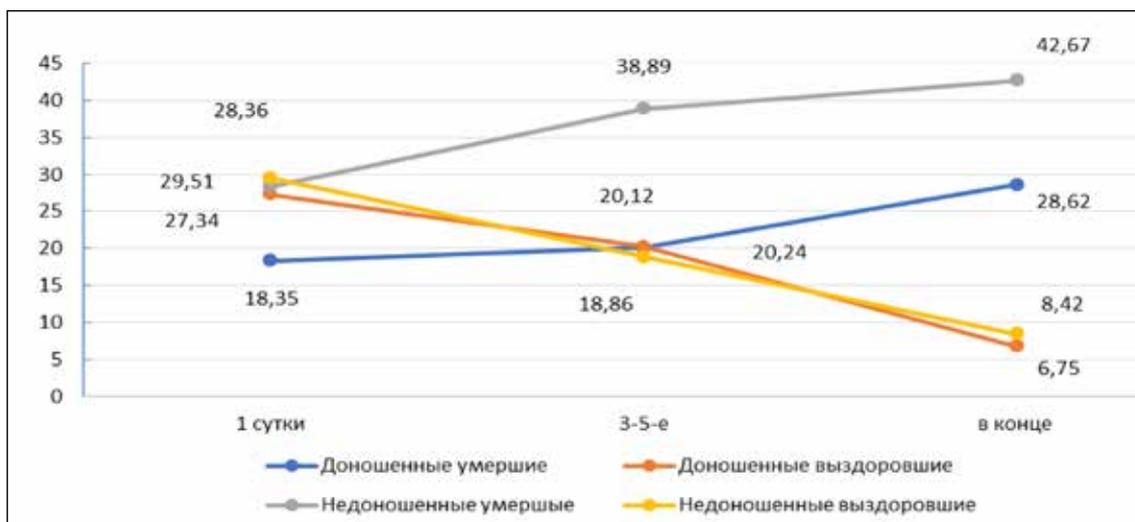


Рис. 4. Динамика СРБ у умерших и выздоровевших больных

Таблица 5

Динамика ПКТ у больных пневмонией новорожденных детей

Группа	Доношенных	Недоношенных	Контрольная	Норма
1 сутки	5,01±1,57**	8,45±2,48***	9,24±4,49***	0,5–2 нг/мл
3 сутки	5,35±1,28**	7,98±1,82***	7,06±6,33***	0,5–2 нг/мл
В конце	5,77±1,57**	11,82±0,81***	0,40±0,03	0,5–2 нг/мл

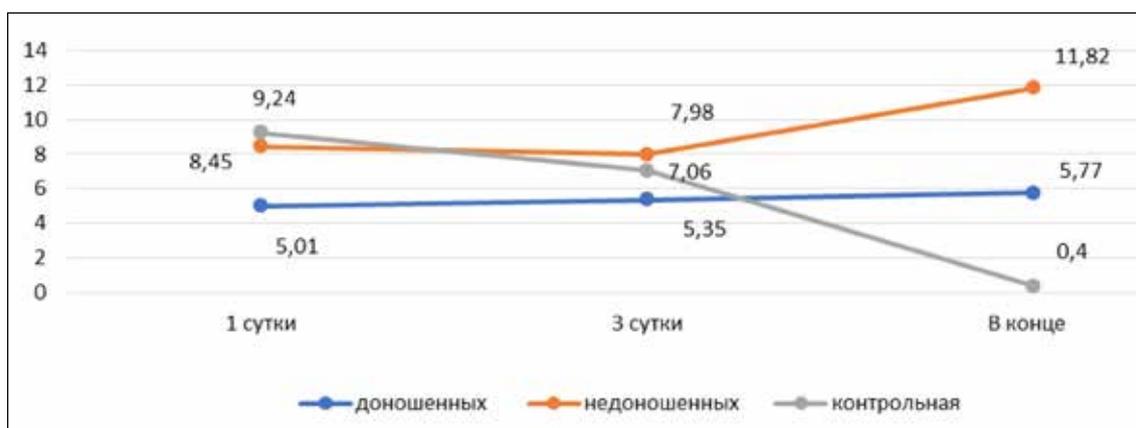


Рис. 5. Динамика ПКТ в исследованных группах детей

Уровень прокальцитонина (ПКТ) также повышен в крови больных всех исследованных групп, но более выраженное повышение ($p < 0,001$) в группе недоношенных детей и контроля (табл. 5).

В динамике заболевания только в группе контроля уровень ПКТ снижается до нормы. А в группе доношенных уровень ПКТ стабилен. Он повышается с высокой степенью достоверности ($p < 0,001$) в группе недоношенных, что свидетельствует о значительном торпидном и прогностически неблагоприятном воспалительном процессе при ВАП у этих больных (рис. 5).

Сравнительный анализ показывает, что уровень ПКТ не имеет достоверных различий между умершими и выздоровевшими доношенными больными ($p > 0,05$). У недоношенных больных ПКТ у умерших больных достоверно выше ($p < 0,01$), чем у выздоровевших. При сравнительном изучении между группами установлено, что у умерших недоношенных ПКТ достоверно выше ($p < 0,01$), чем у умерших доношенных детей. Среди выздоровевших детей не выявлено достоверных различий ($p > 0,05$) в уровне ПКТ между доношенными и недоношенными больными (табл. 6).

Выявлены значительные различия динамики ПКТ у умерших и выздоровевших доношенных и недоношенных детей. У умерших больных показатель ПКТ к концу

нарастает с высокой степенью достоверности ($p < 0,001$), особенно у недоношенных детей ($p < 0,01$). В группе выздоровевших динамика противоположная: ПКТ к выздоровлению снижается до нормальных физиологических показателей ($p < 0,001$), практически в равных соотношениях ($p > 0,05$) между группами (рис. 6).

При изучении цитокинов выявлено резкое увеличение провоспалительного цитокина IL-6 ($p < 0,001$) в основных группах, практически в равных соотношениях ($p > 0,05$) между доношенными и недоношенными больными. Но если в основных группах он повышен в среднем в 6–7 раз от максимального нормального показателя, то в контрольной группе он повышен только в 5 раз. В итоге формируется системная каскадная реакция образования провоспалительных цитокинов, более выраженная в больных с ВАП. TNF также значительно ($p < 0,001$) повышен, но только в основных группах детей.

Ответной реакцией организма является выброс противовоспалительных цитокинов. Однако уровень IL-10, подавляющего продукцию всех провоспалительных цитокинов, повышен в меньшей степени, чем уровень провоспалительных цитокинов ($p < 0,01$), у доношенных больных детей и в еще меньшей степени ($p < 0,05$) у недоношенных детей. (табл. 7).

Таблица 6

Сравнительные показатели ПКТ
у умерших и выздоровевших больных основных групп

Группа	Доношенные		Недоношенные	
	Умерли	Выздоровели	Умерли	Выздоровели
1 сутки	4,48±1,57	5,32±1,38	12,25±2,67**	5,76±1,28
3–5 сутки	8,04±1,76**	4,68±1,10	13,44±1,46**	5,15±1,12
В конце	10,49±1,92***	0,37±0,62***	20,39±6,47***	1,49±0,84***

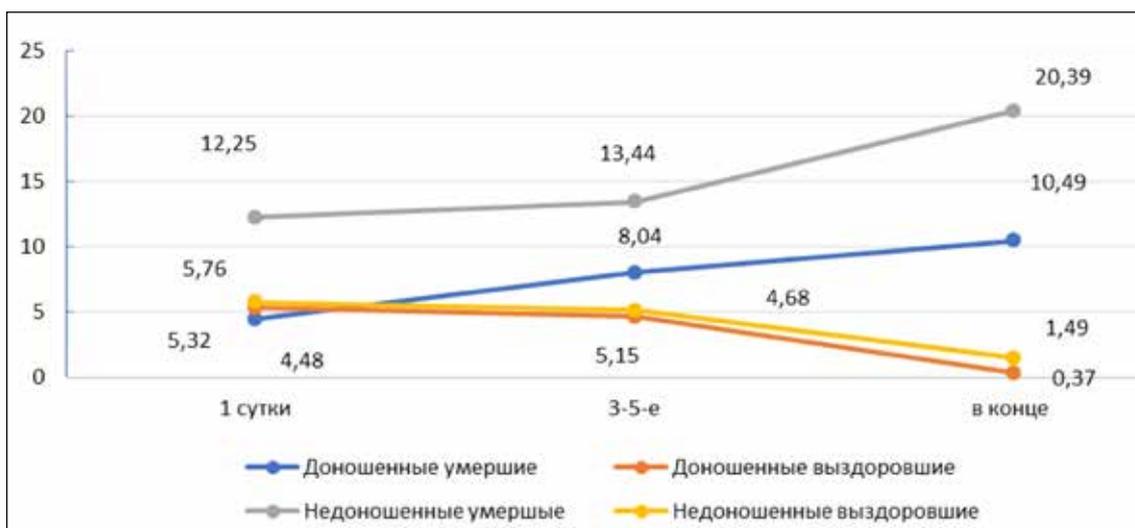


Рис. 6. Динамика уровня ПКТ у умерших и выздоровевших больных

Таблица 7

Показатели цитокинов у исследованных групп

Группа	Доношенные	Недоношенные	Контроль	Норма
Провоспалительные цитокины				
IL-6	78,20±23,84	65,64 ±14,87	51,6±15,18*	0–10 пг/мл
TNF	37,56±29,87	34,23±3,74	9,08±0,98	0–6пг/мл
Противовоспалительные цитокины				
IL-10	61,20±15,5**	45,07±17,54*	36,38±8,61	0–31пг/мл

Таблица 8

Показатели гуморального звена иммунитета

Иммуноглобулины				
Группа	Доношенные	Недоношенные	Контроль	Норма
Ig A	1,96±0,24	2,21±0,64	2,72±0,18	0,7–4,0 г/л
IgM	3,02±1,12	2,82±0,14	3,09±0,04	0,4–2,4 г/л
IgG	22,51±0,91	22,35±2,79	23,05±0,88	7–16 г/л
Ig E	14,4±2,94	21,98±3,57	26,9±5,14*	15 МЕ/мл

Не выявлено ожидаемой при воспалительных заболеваниях стимуляции гуморального звена иммунитета. Ig A, IgM и IgG остаются в пределах возрастных нормативов ($p > 0,05$). Отмечается повышение Ig E в контрольной группе детей ($p < 0,05$), что, возможно, связано с аллергизацией организма больного ребенка. Отмечается дисфункция гуморального звена иммунитета у больных пневмонией, особенно при ВАП, как у доношенных, так и у недоношенных детей (табл. 8).

Выводы

1. Региональной особенностью ВАП у новорожденных детей является стремительное, а порой молниеносное развитие заболевания с выраженными неотложными признаками, угрожающими жизни больных, раннее подключение и длительное пребывание на ИВЛ, крайне тяжелое течение и высокая летальность. У недоношенных детей заболевание протекает чаще в крайне тяжелой степени на более осложненном преморбидном фоне и атипичными жалобами матерей.

2. Разработанная таблица «Ключевые критерии тяжести ВАП» позволяет быстро оценить тяжесть состояния, спектр неотложной помощи и исход заболевания. Оценка ключевых критериев констатирует, что у доношенных детей заболевание протекает в тяжелой степени, а у недоношенных – в крайне тяжелой степени.

3. Медиаторы воспаления в виде лейкоцитоза, нейтрофиллеза, сдвига лейкоформулы влево, повышения СОЭ, СРБ и ПКТ более ВАП выражены и торпидны у недоношенных больных ВАП детей.

4. Уровень СРБ и ПКТ в динамике позволяет прогнозировать тяжесть течения заболевания и его исход. Их высокий уровень и рост в динамике являются и показателями тяжести и неблагоприятного исхода заболевания. Особую группу опасности по уровню СРБ и ПКТ и их динамике представляют недоношенные больные.

5. У больных новорожденных детей особенностью иммунного ответа при ВАП является повышение с высокой степенью достоверности провоспалительных цитокинов с меньшим повышением противовоспалительных цитокинов. Такой иммунный ответ в виде цитокинового шторма свидетельствует о системной воспалительной реакции, что отягощает исход заболевания с развитием генерализации инфекционного процесса и полиорганной недостаточности. Вместо ожидаемой на воспаление стимуляции гуморального звена иммунитета отмечаются нормальные показатели Ig A, IgM и IgG, что свидетельствует о дисфункции гуморального звена иммунитета. Повышение Ig E может

быть связано с аллергизацией. Кроме того, ИЛ-10 может стимулировать синтез IgE.

Список литературы

- Jian-M. Z., Qing Ye. Utility of Assessing Cytokine Levels for the Differential Diagnosis of Pneumonia in a Pediatric Population. *Pediatric Critical Care Medicine. Letters.* 2017. Vol. 18. No. 4. P. 162–166. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001092.
- Шабалов Н.П., Софронова Л.Н. Неонатология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 346 с.
- Володина Н.Н. Неонатология – национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 749 с.
- Геппе Н.А., Розина Н.Н., Волков И.К., Мизерничкий Ю.Л. Рабочая классификация основных клинических форм бронхолегочных заболеваний у детей // *Практическая медицина.* 2010. № 6. С. 93–97.
- Киреев С.С., Умарова Д.И. Вентилятор-ассоциированная пневмония: диагностика, профилактика, лечение (обзор литературы) // *Вестник новых медицинских технологий.* 2017. № 11 (2). С. 365–372.
- ВОЗ. Информационный бюллетень № 331 (ноябрь 2014 г.). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/ru/> (дата обращения: 18.03.2022).
- Рагимова Н.Д. Комплексная оценка состояния недоношенных детей с перинатальной инфекцией // *Современные проблемы науки и образования.* 2019. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28998> (дата обращения: 26.01.2022).
- Rita de C.C.M. de B., Norma L.S., Leuridan C.T., Carlos F.L., Jailson de B.C., Giselia A.P. da S. The balance between the serum levels of IL-6 and IL-10 cytokines discriminates mild and severe acute pneumonia. *BMC Pulmonary Medicine. Letters.* 2016. Vol. 16. No. 170.
- Зинина Е.П., Царенко С.В., Логунов Д.Ю., Тухватулин А.И., Бабаянц А.В., Аврамов А.А. Роль провоспалительных и противовоспалительных цитокинов при бактериальной пневмонии // *Вестник интенсивной терапии* 2021 № 1. URL: <https://intensive-care.ru/en/the-role-of-proinflammatory-and-anti-inflammatory-cytokines-in-bacterial-pneumonia-review>. DOI: 10.21320/1818-474X-2021-1-77-89.
- Карпова Н.И. Патогенетические механизмы нарушений врожденного и адаптивного иммунитета, системы гемостаза и межклеточных взаимоотношений при респираторно-вирусных инфекциях у часто болеющих детей: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Чита, 2011. 138 с.
- Серебренникова С.Н. Роль цитокинов в воспалительном процессе // *Сибирский медицинский журнал.* 2008. № 6. С. 5–8.
- Бутрым Н.В. Особенности клеточного и гуморального иммунитета у новорожденных, перенесших тяжелую асфиксию: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Воронеж, 2011. 145 с.
- Абатуров А.Е., Никулина А.А. Развитие иммунного ответа при пневмонии, вызванной *Pseudomonas aeruginosa* // *Семейная медицина.* 2016. № 6. URL: <http://repo.dma.dp.ua/id/eprint/1340> (дата обращения: 16.01.2017).
- Касохов Т.Б., Цораева З.А., Мерденова З.С., Цораева Л.К., Шляйхер А.Н., Касохова В.В., Мазур А.И. Показатели иммунного статуса у новорожденных недоношенных детей с инфекционно-воспалительными заболеваниями // *Современные проблемы науки и образования.* 2016. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24370> (дата обращения: 22.03.2022).
- Bivona G., Agnello L., Scazzone C., Lo Sasso B., Bellia C., Ciaccio M. Procalcitonin and community-acquired pneumonia (CAP) in children. *Clinica Chimica Acta. Letters.* 2015. Vol. 451. Pt B. P. 215–218. DOI: 10.1016/j.cca.2015.09.031.
- Jorge I.F.S., Vicente C.S.D., Pedro P. The current status of biomarkers for the diagnosis of nosocomial pneumonias. *Curr Opin Critical Care. Letters.* 2017. Vol. 23. No. 5. P. 391–397. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000442.
- Changqin C., Molei Y., Caibao H., Xiaochun L., Huihui Z., Shangzhong C. Diagnostic efficacy of serum procalcitonin, C-reactive protein concentration and clinical pulmonary infection score in Ventilator-Associated Pneumonia. *Med Sci (Paris). Letters.* 2018. Vol. 34. No. 1. P. 26–32.

УДК 614.2

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В МНОГОПРОФИЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ

¹Иманкулова А.С., ¹Джумалиева Г.А., ²Маанаев Т.И.,
¹Боронбаева Э.К., ¹Орозалиева Б.К., ¹Кульжанова А.А.

¹Кыргызская государственная медицинская академия имени И.К. Ахунбаева,
Бишкек, e-mail: aselimankul@gmail.com;

²Национальный госпиталь при Министерстве здравоохранения Кыргызской республики, Бишкек

Государственная стратегия развития и национальные реформы системы здравоохранения позволили усилить внимание государства к потребностям пациентов и внедрить шаги по повышению эффективности работы медицинских учреждений в Кыргызской Республике. Имеющаяся нормативная база по управлению качеством не отвечает современным тенденциям и не позволяет своевременно принимать управленческие решения по повышению качества медицинских услуг. Существующие сложные экономические условия создали предпосылки к разработке и внедрению эффективной модели системы локального контроля качества медицинской помощи, что является основополагающим фактором повышения качества и безопасности медицинских услуг, степени удовлетворенности пациентов и, как следствие, повышения экономической эффективности деятельности медицинских учреждений. Сложные экономические условия и несовершенство нормативной базы системы здравоохранения создали предпосылки к совершенствованию системы управления качеством медицинских услуг на локальном уровне. Целью исследования явилось улучшение системы управления качеством медицинских услуг с оценкой эффективности усовершенствованной и внедренной модели в многопрофильном стационаре. Исследование проведено в многопрофильном стационаре третичного уровня, рассчитанного на 1070 коек терапевтического и хирургического профиля. По результатам анализа деятельности учреждения выделены приоритетные направления и разработан поэтапный стратегический план разработки и внедрения локальной модели управления качеством. При оптимизации качества пристальное внимание было уделено вопросам стандартизации медицинских услуг с адаптацией к локальным условиям (клинические протоколы, алгоритмы и стандартные операционные процедуры). Внедренные мероприятия позволили улучшить показатели стационара по блоку «Управление. Инфекционный контроль» в 1,4 раза, по блоку «Система обучения. Потенциал» в 1,6 раза, по блоку «Внутрибольничная система обеспечения качеством» в 1,9 раза, по блоку «Качество услуг в отделениях» в 1,5 раза, по блоку «Удовлетворенность пациентов» в 1,4 раза. Внедрение усовершенствованной локальной модели управления качеством позволило принимать своевременные управленческие решения, направленные на улучшение организации и качества медицинской помощи.

Ключевые слова: качество медицинской помощи, стратегия качества медицинской помощи, оценочная карта, эффективность и безопасность медицинских услуг, организация здравоохранения

QUALITY MANAGEMENT OF MEDICAL CARE IN A MULTI-SPECIALITY HOSPITAL

¹Imankulova A.S., ¹Dzhumaliev G.A., ²Maanaev T.I.,
¹Boronbaeva E.K., ¹Orosaliev B.K., ¹Kulzhanova A.A.

I.K. Akhunbaev Kyrgyz State Medical Academy, Bishkek, e-mail: aselimankul@gmail.com;

²National Hospital under the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek

The state development strategy and national reforms of the healthcare system have made it possible to strengthen the state's attention to the needs of patients and introduce steps to improve the efficiency of medical institutions in the Kyrgyz Republic. The existing regulatory framework for quality management does not meet modern trends and does not allow making timely management decisions to improve the quality of medical services. Existing difficult economic conditions have created prerequisites for the development and implementation of an effective model of the system of local quality control of health care, and is a fundamental factor in improving the quality and safety of medical services, patient satisfaction and, consequently, increasing the economic efficiency of medical institutions. The difficult economic conditions and imperfect regulatory framework of the health care system have created the preconditions for improving the quality management system of health care at the local level. The goal of the research was to improve the quality management system at the local level by evaluating the effectiveness of the developed and implemented local model in a multi-specialty hospital. The study was conducted in a tertiary care multidisciplinary hospital with 1070 therapeutic and surgical beds. Based on the results of the analysis of the institution's activities, priority areas were identified and a systematic strategic plan for the development and implementation of a local quality management model was developed. The implemented measures allowed improving the indicators of the hospital in the "Management. Infection control" by 1.4 times, according to the block "Training system. Potential" by 1.6 times, according to the block "Intro-hospital quality assurance system" by 1.9 times, according to the block "Quality of services in departments" by 1.5 times, according to the block "Patient satisfaction" by 1.4 times. The introduction of an improved local quality management model has enabled timely management decisions to be made to improve the organization and quality of health care.

Keywords: quality of health care, strategy of quality of health care, scorecard, efficiency and safety of health care, health care organization

Право пациентов на получение качественной и безопасной медицинской помощи регламентировано главой IX Закона от 09.01.2005 г. № 6 «Об охране здоровья граждан в Кыргызской Республике» [1]. Основным инструментом защиты прав граждан является оценка качества медицинского обслуживания с позиции его соответствия уровню современных требований, а также внедрение мероприятий по повышению их эффективности [2–4].

Начатое с 1997 г. реформирование системы здравоохранения и проведенные интеграции позволили усилить внимание государства к потребностям пациентов и повысить эффективность работы медицинских учреждений [1, 5].

Качество медицинских услуг в Кыргызстане обеспечивается за счет вертикальной системы контроля [5]. Система внешнего аудита, несмотря на ее разнообразие и многочисленность, до настоящего времени остается незрелой [5, 6].

На основании ряда проведенных мероприятий Министерство здравоохранения издало приказ № 454 от 4 августа 2015 г. «О совершенствовании системы управления качеством в организациях здравоохранения Кыргызской Республики», где была утверждена система внутреннего контроля качества для организаций здравоохранения всех уровней [5, 7].

Сложные экономические условия создали предпосылки к совершенствованию системы управления качеством медицинской помощи в организациях здравоохранения. Внедренная система управления качеством на уровне организаций здравоохранения будет способствовать повышению качества и безопасности медицинских услуг [1, 5, 8, 9].

Цель исследования – улучшение системы управления качеством медицинских услуг с оценкой эффективности усовершенствованной и внедренной модели в многопрофильном стационаре.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на базе Национального госпиталя при Министерстве здравоохранения Кыргызской Республики (НГ МЗ КР) – крупнейшее многопрофильное лечебное учреждение третичного уровня, состоящее из 32 клинических отделений, рассчитано на 1070 коек, из которых 870 хирургических. Ежегодно в стационаре получают лечение более 36 тыс. пациентов и проводится свыше 19 тыс. оперативных вмешательств.

С целью повышения качества и безопасности медицинских услуг в Нацио-

нальном госпитале был образован отдел управления качеством медицинской помощи (ОУКМП). Штат ОУКМП НГ МЗ КР составили следующие специалисты: заведующий отделом (1,0 ставка), врач – клинический фармаколог (1,5 ставки), врачи-эксперты (4 ставки), врач-эпидемиолог (1,5 ставки), медсестра инфекционного контроля (3 ставки), специалист по информационным технологиям (1,5 ставки) [6, 7]. На начальном этапе сотрудниками ОУКМП в 2016–2017 гг. был составлен план и проведены мероприятия, направленные на повышение уровня знаний: внедрение обучающих программ, алгоритмов и клинических протоколов, которые не имели положительных результатов. По результатам проведенной самооценки специалистами ОУКМП в 2018 г. были получены низкие показатели качества оказания медицинской помощи в структурных подразделениях и НГ МЗ КР в целом, в связи с чем определены стратегические направления и разработан поэтапный план внедрения мероприятий по их улучшению.

Оценка внедренных мероприятий проводилась по «Оценочной карте», утвержденной приказом Министерства здравоохранения КР от 28.06.2018 г. № 462 и Фонда ОМС при Правительстве КР от 28.06.2018 г. № 222 «О совершенствовании системы управления качеством медицинских услуг в организациях здравоохранения, работающих в системе Единого Плательщика» [8].

Полученные результаты обработаны при помощи программы SPSS statistics 21.

Результаты исследования и их обсуждение

Пристальное внимание при оптимизации качества было уделено вопросам стандартизации медицинских услуг [3, 4, 6]. С учетом локальных особенностей были адаптированы утвержденные Министерством здравоохранения клинические протоколы, алгоритмы и стандартные операционные процедуры. Были разработаны и утверждены стандарт амбулаторного обследования пациентов при плановой госпитализации, стандарт предоперационного обследования и подготовки к оперативному вмешательству при неотложных ситуациях.

Врачами-экспертами совместно с руководителями структурных подразделений были разработаны мониторинговые оценочные формы «Карты экспертной оценки деятельности для врачей, среднего и младшего медперсонала» с внедрением соответствующих индикаторов деятельности [6, 9, 10].

Основным показателем качества в организациях здравоохранения является уровень профессиональной подготовки не только врачей, но и среднего и младшего медицинского персонала. Для эффективной реализации данной задачи с учетом опыта ранее проведенных мероприятий был образован «Учебно-тренировочный комплекс» для проведения непрерывных краткосрочных курсов и практических тренингов для сотрудников. Исключительная роль в обучении была отведена организации системы инфекционного контроля, стандартам безопасности медицинских процедур и профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. В программу практического тренинга были включены: мониторинг и оценка качества медицинской помощи, методология проведения оценочных мероприятий и анализа полученных данных [6], а также введен блок компьютерной грамотности.

С целью стимулирования профессионального роста среди медицинских работников нами были внедрены дополнительные формы профессионального обучения, такие как конкурсы профессионального мастерства, практические конференции, мастер-классы. В качестве индикатора качества обучения введена ежегодная аттестация медицинских работников с оценкой уровня теоретических знаний и практических навыков.

Особое внимание было уделено оценке уровня удовлетворенности пациентов как индикатору внедренной стратегии контроля качества медицинской помощи и повышения ее эффективности и показателем деятельности организаций здравоохранения. Уровень удовлетворенности пациентов оценивался по пятибалльной шкале Лайкерта и состоял из 20 вопросов, разделенных по блокам. Вопросы организации медицинской помощи на догоспитальном этапе включали в себя ожидание госпитализации, работу регистратуры, предварительную запись на прием, время и график работы кабинетов поликлиники. Оценка санитарно-гигиенических условий отделений содержала информацию об условиях пребывания пациентов и соблюдении принципов инфекционной безопасности. В вопросах качества медицинской помощи были затронуты следующие индикаторы качества оказания медицинских услуг: своевременность получения, полнота оказания, доступность и эффективность проведенных лечебно-диагностических мероприятий. Особая роль была уделена соблюдению Программы государственных гарантий и предоставлению гаранти-

рованного пакета бесплатной медицинской помощи на этапах ее оказания. Соблюдение принципов этики и деонтологии, отзывчивость и готовность помочь пациентам, своевременность предоставления необходимой информации медицинскими работниками и ее доступность также нашли отражение в опроснике удовлетворенности.

Оценочная карта основана на следующих кумулятивных оценочных категориях деятельности организации здравоохранения [9, 10]:

- Категория 1: Управление. Инфекционный контроль.
- Категория 2: Система обучения. Потенциал.
- Категория 3: Внутрибольничная система обеспечения качеством.
- Категория 4: Качество услуг в отделениях.
- Категория 5: Удовлетворенность пациентов.

Внедрение «Самооценки» с применением «Оценочной карты» на первом этапе экспертизы качества медицинских услуг дает возможность своевременно на локальном уровне выявить имеющиеся проблемы и стратифицировать их по факторам риска возникновения, затем разработать и внедрить мероприятия по устранению рисков и оптимизации деятельности в структурных подразделениях [6, 8, 10].

На втором этапе оценка качества медицинской помощи осуществляется специалистами ОУКПМ совместно с заместителем главного врача НГ МЗ КР [7]. В процессе оценки проводится сравнительный анализ полученных данных с результатами самооценки, с выявлением основных стратегических задач и разработкой плана внедрения мероприятий по улучшению системы качества медицинской помощи на административном уровне [6, 7].

На третьем, заключительном, этапе экспертами территориального управления Фонда обязательного медицинского страхования (ТУ ФОМС) осуществляется заключительная оценка качества и безопасности медицинских услуг в организации здравоохранения. Ступенчатая оценка системы качества позволяет своевременно оценить риски и принять своевременные управленческие решения по улучшению качества медицинских услуг в организациях здравоохранения [6, 11, 12].

Результаты аудитов внешнего контроля качества, проведенных ТУ ФОМС г. Бишкека за трехлетний период (2018–2020 гг.) показали целесообразность и эффективность усовершенствованной модели управления качеством медицинских услуг в НГ МЗ КР.

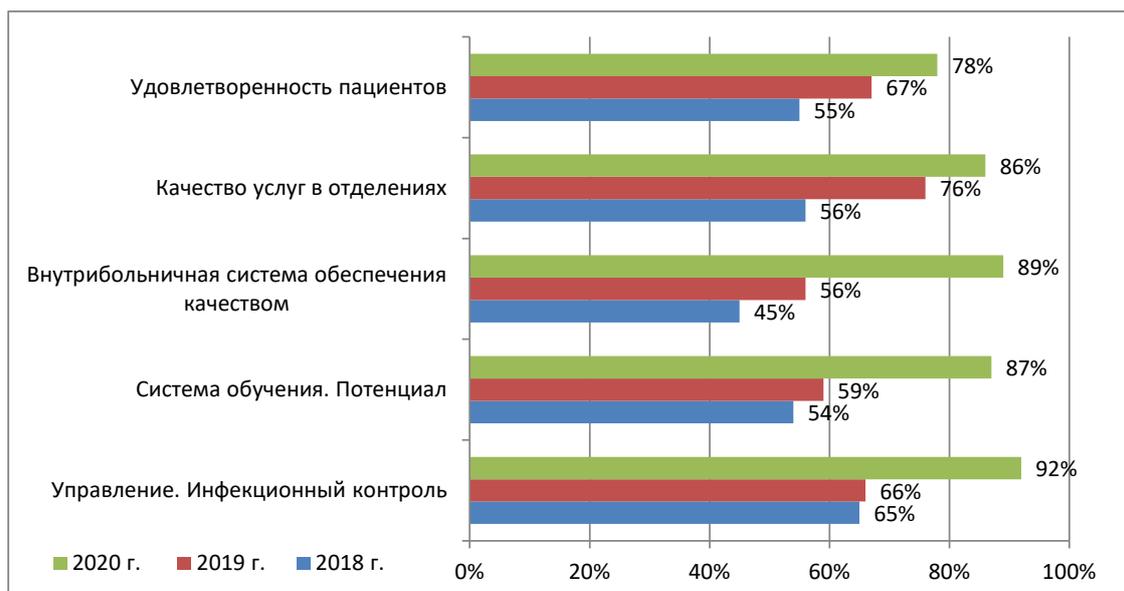


Рис. 1. Динамика исполнения индикаторов качества медицинской помощи (2018–2020 гг.)

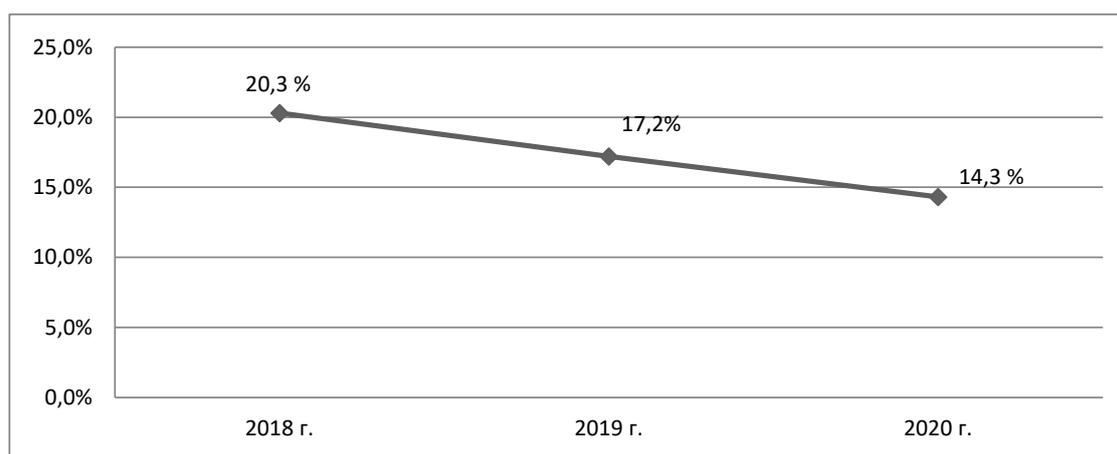


Рис. 2. Удельный вес дефектных актов (2018–2020 гг.)

Внедренная усовершенствованная система контроля качества на локальном уровне позволила улучшить показатели НГ МЗ КР по блоку «Управление. Инфекционный контроль» в 1,4 раза, по блоку «Система обучения. Потенциал» в 1,6 раза, по блоку «Внутрибольничная система обеспечения качеством» в 1,9 раза, по блоку «Качество услуг в отделениях» в 1,5 раза, по блоку «Удовлетворенность пациентов» в 1,4 раза (рис. 1).

Начиная с 2018 г. в НГ МЗ КР снизился удельный вес дефектов оказания медицинской помощи стационара в 1,4 раза сравнительно с исходными данными (рис. 2) по результатам данных внешнего аудита ТУ ФОМС г. Бишкека с 20,3% до 14,3%.

Заключение

Внедренные мероприятия по управлению качеством позволили улучшить показатели стационара по блоку «Управление. Инфекционный контроль» в 1,4 раза, по блоку «Система обучения. Потенциал» в 1,6 раза, по блоку «Внутрибольничная система обеспечения качеством» в 1,9 раза, по блоку «Качество услуг в отделениях» в 1,5 раза, по блоку «Удовлетворенность пациентов» в 1,4 раза.

Усовершенствованная локальная система контроля качества медицинской помощи за трехлетний период способствовала снижению удельного веса дефектов оказания

медицинской помощи в 1,4 раза сравнительно с исходными данными.

Внедренная в практику модель управления качеством позволила на локальном уровне своевременно и самостоятельно принимать управленческие решения, направленные на повышение качества и безопасности оказываемых медицинских услуг и уровня удовлетворенности пациентов.

Список литературы

1. Закон Кыргызской Республики от 9 января 2005 г. № 6 «Об охране здоровья граждан в Кыргызской Республике» (с изменениями и дополнениями) [<http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/1602> (дата обращения: 12.02.2022)].
2. Орлов А.Е. Научное обоснование системы обеспечения качества в условиях городской многопрофильной больницы: автореф. дис. ... докт. мед. наук: Самара, 2016. 48 с.
3. Татарников А.М. Контроль качества и безопасности медицинской деятельности в вопросах и ответах // Вопросы экспертизы и качества медицинской помощи. 2016. № 12. С. 24–28.
4. Мурашко М.А., Иванов И.В., Князюк Н.Ф. Основы обеспечения качества и безопасности медицинской деятельности. М.: Вива-Стар, 2020. 406 с.
5. Качество услуг здравоохранения в Кыргызстане: обзор // Европейское региональное бюро ВОЗ. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/386417/kgz-qoc-rus.pdf (дата обращения: 12.02.2022).
6. Гайдаров Г.М., Алексеева Н.Ю., Сафонова Н.Г., Маевская И.В. Опыт организации внутреннего контроля качества медицинской помощи (на примере факультетских клиник ИГМУ) // Acta biomedica scientifica. 2017. Т. 2. № 3. С. 63–69.
7. Приказ Министерства здравоохранения Кыргызской Республики от 4 августа 2015 г. № 454 «О совершенствовании системы управления качеством в организациях здравоохранения Кыргызской Республики» [Электронный ресурс]. URL: https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=83941 (дата обращения: 12.02.2022).
8. Приказ Министерства здравоохранения Кыргызской Республики от 28 июня 2018 г. № 462 и Фонда ОМС при Правительстве КР № 222 «О совершенствовании системы управления качеством медицинских услуг в организациях здравоохранения, работающих в системе Единого Плательщика».
9. Артамонова Г.В., Данильченко Я.В., Крючков Д.В., Карась Д.В. Система менеджмента качества и рабочая среда медицинской организации // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2018. Т. 7. № 4. С. 62–69. DOI: 10.17802/2306-1278-2018-7-4-62-69
10. Бударин С.С., Смирнова Е.В. Организация экспертизы качества медицинской помощи в системе ОМС и ее экспертный потенциал // Вестник Росздравнадзора. 2016. № 6. С. 13–23.
11. Линденбраген А.Л., Дубинин Н.Д., Лудупова Е.Ю., Крючков Д.В., Николаев Н.С., Дубограй Е.В. Мнение персонала медицинских организаций об эффективности систем менеджмента качества и международной сертификации // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2016. Т. 24. № 5. С. 260–265.
12. Makary M.A., Daniel. M. Medical error – the third leading cause of death in the US // BMJ. 2016. № 353. P. 2139. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27143499>. DOI: 10.1136/bmj.i2139.

УДК 616.6-089:616.9

ЧАСТОТА РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИЙ МОЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ УРОЛОГИИ

¹Кожомкулова К.А., ¹Иманкулова А.С., ¹Усупбаев А.Ч., ²Маанаев Т.И.,
¹Кабаев Б.А., ¹Садырбеков Н.Ж., ¹Оскон уулу Айбек

¹Кыргызская государственная медицинская академия имени И.К. Ахунбаева, Бишкек,
e-mail: aselimankul@gmail.com;

²Национальный госпиталь при Министерстве здравоохранения Кыргызской Республики, Бишкек

Проблема инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, критически актуальна для всех структур здравоохранения любых специальностей. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи, значительно ухудшают исход заболеваний, продлевают стационарное лечение и приводят к масштабным расходам системы здравоохранения. По данным ВОЗ инфекции мочевыводящих путей занимают первое место в мире в системе всех внутрибольничных инфекционно-воспалительных осложнений в отделениях высокого риска и возникают у 29–44% госпитализированных пациентов. Проблема послеоперационных инфекционных осложнений в урологии не утратила актуальности до настоящего времени. Ретроспективно были изучены частота, структура и особенности развития инфекций мочевыводящих путей в послеоперационном периоде у 870 пациентов урологического профиля в стационаре третичного уровня. Послеоперационные инфекционные осложнения были отмечены у 20,7% прооперированных пациентов. Инфекция мочевыводящих путей составила 18,9% от всех случаев инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Из всех случаев инфекций мочевыводящих путей острый орхоэпидидимит выявлен в 41,2%, острый пиелонефрит в 35,3%, острый цистит 20,6%, острый уретрит в 2,9% случаев. При малоинвазивных операциях инфекции мочевыводящих путей встречаются в 1,3 раза чаще в сравнении с открытыми видами оперативных вмешательств. Полученные результаты доказывают необходимость дальнейшего изучения проблемы развития инфекции мочевыводящих путей и необходимости разработки эффективных мероприятий по их прогнозированию и профилактике.

Ключевые слова: инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи, послеоперационные инфекционные осложнения, факторы риска, урология, инфекции мочевыводящих путей, периоперационная антибиотикопрофилактика

THE INCIDENCE OF URINARY TRACT INFECTIONS IN SURGICAL UROLOGY

¹Kozhomkulova K.A., ¹Imankulova A.S., ¹Usupbaev A.Ch., ²Maanaev T.I.,
¹Kabaev B.A., ¹Sadyrbekov N.Zh., ¹Oskon uulu Aybek

¹Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek, e-mail: aselimankul@gmail.com;

²National Hospital under the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek

The problem of infections associated with the provision of medical care is critically relevant for all healthcare structures of any specialty. The occurrence of healthcare-associated infections significantly worsen disease outcomes, prolong hospital stays, and result in massive health care costs. According to WHO, urinary tract infections rank first in the world in the system of all nosocomial infectious and inflammatory complications in high-risk departments and occur in 29%–44% of hospitalized patients. The problem of postoperative infectious complications in urology has not lost its relevance to the present. The frequency, structure and features of the development of urinary tract infections in the postoperative period were retrospectively studied in 870 urological patients in a tertiary hospital. Postoperative infectious complications were observed in 20,7% of operated patients. Urinary tract infection accounted for 18,9% of all healthcare-associated infections. Of all cases of urinary tract infections, acute orchepididymitis was detected in 41,2%, acute pyelonephritis in 35,3%, acute cystitis in 20,6%, and acute urethritis in 2,9% of cases. In minimally invasive operations, urinary tract infection occurs 1,3 times more often than in open types of surgical interventions. The results obtained prove the need for further study of the problem of the development of urinary tract infections and the need to develop effective measures for their prognosis and prevention.

Keywords: healthcare-associated infections, postoperative infectious complications, risk factors, urology, urinary tract infections, perioperative antibiotic prophylaxis

Одной из глобальных и сложных проблем здравоохранения как развитых, так и развивающихся стран является обеспечение качества медицинской помощи и создание максимально безопасной среды пребывания для пациентов, родственников и персонала в организациях, осуществляющих медицинскую деятельность [1]. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи (ИСМП), являются одной из важнейших

проблем медицинских учреждений в силу широкого распространения нежелательных последствий для пациентов и персонала, увеличивающих показатели смертности, снижающих качество медицинской помощи и приносящих огромный ущерб не только здоровью пациентов, но и макроэкономике государства [2]. В связи с чем стратегически важной задачей системы здравоохранения является максимальное улучшение качества

и безопасности оказания медицинской помощи населению [3]. Поэтому повышение эффективности антибиотикотерапии в настоящее время ВОЗ выдвигает на передний план современной медицины [4, 5].

Из всех видов ИСМП случаи инфекции мочевыводящих путей (ИМВП) становятся более частым явлением у пациентов урологических отделений в связи с применением мочевых катетеров, дренажей, эндоскопических и малоинвазивных методов диагностики и лечения [6–8]. Усугубление течения послеоперационного периода может быть также связано с давностью воспалительного процесса, несвоевременным обращением за медицинской помощью, недостатком диагностики и/или неадекватно проводимым лечением [9, 10]. При этом внедрение и повышение качества методов диагностики и хирургического лечения не всегда дает желаемый результат. В связи с чем, учитывая востребованность разных методов оперативных вмешательств, необходимо более глубокое изучение послеоперационных инфекционных осложнений в урологии для дальнейшего прогнозирования и предупреждения развития госпитальной инфекции [11, 12].

Целью исследования явилось изучение частоты возникновения, структуры и особенностей развития инфекции мочевыводящих путей в послеоперационном периоде у пациентов урологического профиля.

Материалы и методы исследования

В основу работы положены результаты ретроспективного исследования истории болезней 870 оперированных пациентов урологических отделений Национального госпиталя при Министерстве здравоохранения Кыргызской Республики (НГ МЗ КР) за период с января по декабрь 2018 г.

Для определения случая ИСМП использовались «Стандартные определения случая ИСМП», утвержденные приказом Министерства здравоохранения Кыргызской Республики (МЗ КР) от 22.11.2018 г. № 795

«Об утверждении практического руководства по инфекционному контролю в организациях здравоохранения Кыргызской Республики».

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного пакета Microsoft Office Excel. Различия статистических показателей считались значимыми при $p \leq 0,05$

Результаты исследования и их обсуждение

Из 870 прооперированных пациентов преобладающее большинство представляли мужчины 505 (58%), меньшинство женщины 365 (42%), средний возраст составил 52,8 лет. Анализ структуры заболеваемости выявил высокий удельный вес пациентов с гиперплазией предстательной железы 30,5%, мочекаменной болезнью 19,5% и обструктивной уропатией 11,5%.

При изучении структуры оперативных вмешательств выявлено существенное преобладание традиционных оперативных вмешательств (63,4%) над малоинвазивными (36,6%). Из 552 прооперированных традиционным методом пациентов у 203 (23,3%) выполнены операции на почках и мочеточниках, у 194 (22,3%) на мочевом пузыре и простате, у 155 (17,8%) на органах мошонки. При малоинвазивных методах оперативного лечения самое большое количество операций проведено на мочевом пузыре и простате 184 (21,1%), затем на почке и мочеточнике 117 (13,5%) и минимальное количество на органах мошонки 17 (2,0%) (табл. 1).

В послеоперационном периоде у 180 пациентов из 870 были выявлены случаи ИСМП, что составило 20,7%. Инфекции области хирургического вмешательства составили основную долю в структуре ИСМП и зарегистрированы у 78,9% пациентов, инфекции мочевыводящих путей у 18,9%, другие виды ИСМП (сепсис, катетер-ассоциированная инфекция кровотока, пневмония) у 2,2% соответственно (рис. 1).

Таблица 1

Структура проведенных оперативных вмешательств

Количество пациентов, n = 870	Открытые (традиционные) операции		Малоинвазивные операции	
	Абс.	%	Абс.	%
На почке и мочеточнике	203	23,3%	117	13,5%
На мочевом пузыре и простате	194	22,3%	184	21,1%
На органах мошонки	155	17,8%	17	2,0%
Всего:	552	63,4%	318	36,6%

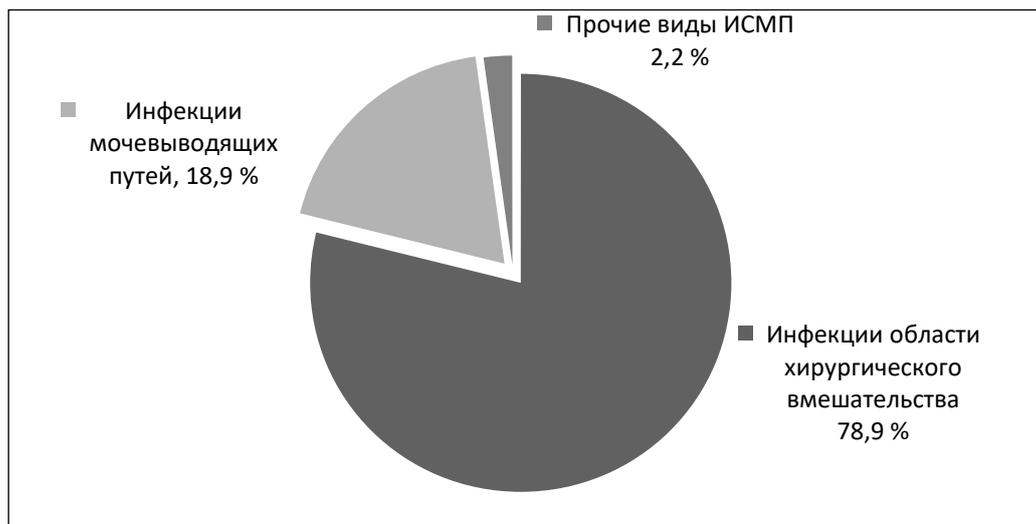


Рис. 1. Структура случаев ИСМП у пациентов урологического профиля

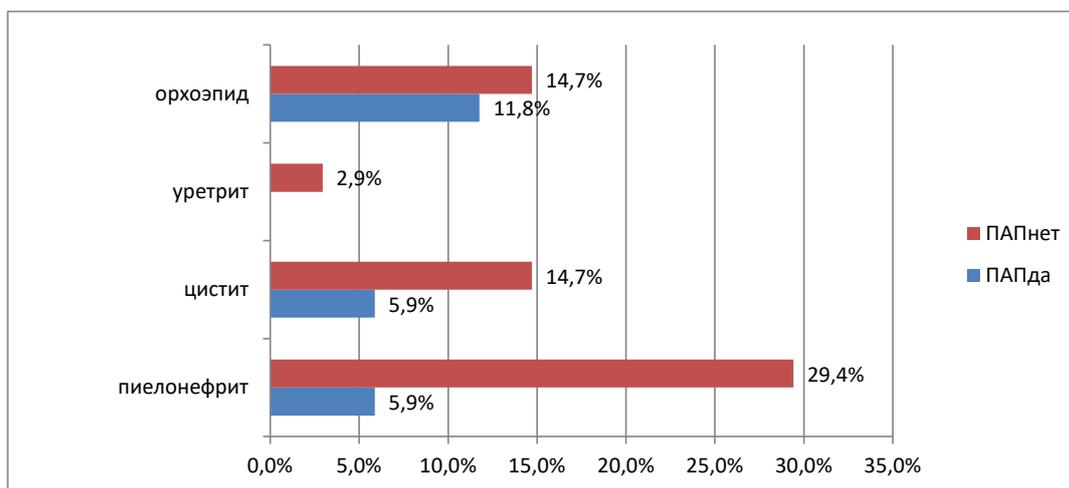


Рис. 2. Частота ИМВП в зависимости от ПАП

Изучение зависимости частоты возникновения ИМВП от возраста показало высокий процент развития послеоперационных инфекционных осложнений в возрасте 60–74 лет и составил 55,9%, в 45–59 лет до 29,4%, а возрасте 18–44 лет отмечен наименьший риск развития ИМВП, 8,8%.

Если рассмотреть риск развития ИМВП в послеоперационном периоде в зависимости от периоперационной антибиотикопрофилактики (ПАП), то выявлена следующая закономерность. У пациентов, которым не проведена периоперационная антибиотикопрофилактика, послеоперационные инфекционные осложнения зарегистрированы в 76,5%, а среди тех, кому сделана периоперационная антибиотико-

профилактика, ИМВП развились у 23,5%. При более детальном изучении структуры ИМВП в зависимости от ПАП выявили, что пиелонефрит в послеоперационном периоде чаще встречается у пациентов без ПАП 29,4% и реже у получивших 5,9%. Цистит и орхоэпидидимит имеют одинаковый процент и составили по 14,7% пациентов среди не получивших ПАП, а среди тех, кому была сделана ПАП, цистит развился только у 5,9% и орхоэпидидимит у 11,8% (рис. 2).

В структуре ИМВП в зависимости от операционного доступа топ-лидерами явились острый орхоэпидидимит (41,2%), острый пиелонефрит (35,3%), острый цистит (20,6%) (табл. 2).

Таблица 2

Частота ИМВП в зависимости от вида операционного доступа

Послеоперационные инфекционные осложнения	Малоинвазивные операции		Открытые (традиционные) операции		Итого	
	абс	%	абс	%	абс	%
Острый пиелонефрит	6	31,6%	6	40,0%	12	35,3%
Острый цистит	4	21,1%	3	20,0%	7	20,6%
Острый орхоэпидидимит	8	42,1%	6	40,0%	14	41,2%
Острый уретрит	1	5,3%	0	0,0%	1	2,9%
Всего:	19	55,9%	15	44,1%	34	100,0%

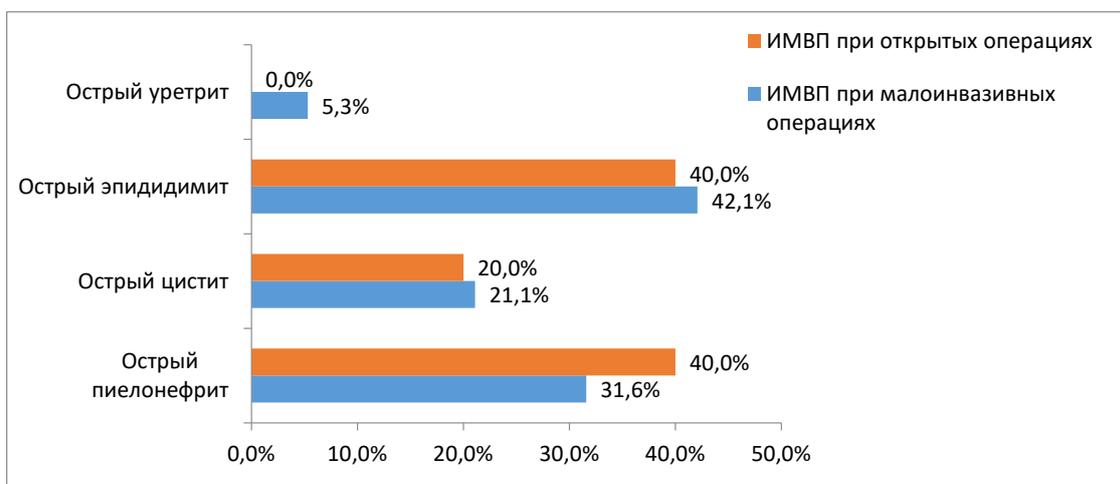


Рис. 3. Частота ИМВП в зависимости от вида операционного доступа

Рассмотрев вид оперативного доступа в качестве фактора риска развития ИМВП, выяснили, что случаи ИМВП наблюдались при малоинвазивных операциях в 1,3 раза чаще, чем при операциях, выполненных традиционным доступом. Детальный анализ отметил наиболее часто встречаемые формы ИМВП в послеоперационном периоде при малоинвазивных и открытых операциях – острый орхоэпидидимит (42,1% и 40,0%) и острый пиелонефрит (40,0% и 31,6%), гораздо реже (21,1% и 20,0%) наблюдался острый цистит. Острый уретрит при открытых операциях не наблюдался, однако при малоинвазивных операциях был отмечен в 5,3% (рис. 3).

Проведенное исследование выявило частоту развития ИСМП, структуру случаев ИМВП и определило зависимость частоты развития ИМВП от вида оперативного доступа. Учитывая полученные результаты исследования, необходимо продолжить более детальное и углубленное изучение про-

блемы послеоперационных инфекционных осложнений в хирургической урологии.

Заключение

Данные ретроспективного исследования показали, что частота случаев ИСМП у прооперированных пациентов урологического профиля составила 20,7%. В послеоперационном периоде случаи ИОХВ выявлены у 78,9%, ИМВП у 18,9%, другие виды ИСМП у 2,2% пациентов соответственно.

Высокий показатель частоты ИМВП выявлен в возрасте 60–74 лет у 55,9%, а в возрасте 45–59 лет у 29,4% случаев.

Высокий процент риска развития ИМВП, 76,5%, у пациентов, которым не была сделана ПАП, у пациентов, получивших ПАП, ИМВП возникали реже – в 23,5%.

В структуре ИМВП при всех видах операций острый орхоэпидидимит составил 41,2%, острый пиелонефрит – 35,3%, острый цистит – 20,6%, острый уретрит – 2,9% соответственно. При малоинвазивных

операциях частота развития ИМВП выше в 1,3 раза сравнительно с традиционными доступами.

Полученные результаты доказывают необходимость дальнейшего изучения проблемы развития инфекции мочевыводящих путей и разработки эффективных мероприятий по их прогнозированию и профилактике.

Список литературы

1. Брусина Е.Б., Ковалишена О.В., Цигельник А.М. Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи в хирургии: тенденции и перспективы профилактики // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2017. Т. 16. № 4. С. 73–80.
2. Акилов Ф.А., Мухтаров Ш.Т., Гиясов Ш.И., Мирхамидов Д.Х., Насиров Ф.Р., Муратова Н.Б. Послеоперационные инфекционно-воспалительные осложнения эндоскопических операций по поводу уrolитиаза // Урология. 2013. № 1. С. 89–91.
3. Бережной А.Г., Винник Ю.С., Ершов А.В. Ретроспективное исследование инфекционных осложнений у пациентов с мочекаменной болезнью в послеоперационном периоде // Московский хирургический журнал. 2018. № 4. С. 45–50.
4. Борисов В.В. Диагностика и терапия инфекций мочевыводящих путей, о чем следует помнить всегда // Урологические ведомости. 2017. Т. 7. № 4. С. 60–66.
5. Григорьев Е.Г., Коган А.С. Хирургия тяжелых гнойных процессов. Новосибирск: Наука, 2000. С. 314.
6. Козлов Р.С. Нозокомиальные инфекции: эпидемиология, патогенез, профилактика, контроль // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2000. Т. 2. № 1. С. 16–30.
7. Черкасский Б.Л. Руководство по общей эпидемиологии // Медицина. 2001. С. 560.
8. Мельников В.Л., Митрофанова Н.Н., Суменкова А.О., Терина Н.А. Гнойно-септические осложнения в урологическом отделении стационара (Обзор литературы) // Хирургия. Медицинские науки. 2019. № 3. С. 51.
9. Национальная Концепция профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2011 г.
10. Селитреников В.С., Рисман Б.В. Эпидемиология послеоперационных инфекционных осложнений в клинике хирургического профиля // Известия Российской военно-медицинской академии. 2019. Т. 2. S1. С. 148–154.
11. Яковлев С.В., Суворова М.П., Елисеева Е.В. Стратегические и тактические вопросы рационального применения антибактериальных препаратов в стационаре. Рациональная антимикробная фармакотерапия: руководство для практикующих врачей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Литтерра, 2015. С. 421–436.
12. Ahmed K., Bashar K., Connelly T.T., et al. Reducing Surgical Site Infections in Abdominal Surgery: Are Ring Retractors Effective? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surg. Infect.* 2016. Vol. 17. No. 2. P. 138–151.

УДК 57.084.1:612.821.6

ОСОБЕННОСТИ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ОТВЕТОВ ПРИ РЕАЛЬНОМ И ВООБРАЖАЕМОМ ДВИЖЕНИИ У ПАЦИЕНТОВ С НАЛИЧИЕМ И ОТСУТСТВИЕМ АСПОНТАННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

**¹Шарова Е.В., ²Каверина М.Ю., ¹Кулева А.Ю., ¹Болдырева Г.Н., ²Смирнов А.С.,
¹Жаворонкова Л.А., ¹Купцова С.В., ²Трошина Е.М.**

¹ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН»,
Москва, e-mail: esharova@nsi.ru;

²ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии
имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Москва

К числу важных составляющих поведения человека относится спонтанность, т.е. способность активно действовать под влиянием внутренних побуждений. Ее нарушения (аспонтанность) могут затруднять процесс нейрореабилитации пациентов с черепно-мозговой травмой. Объективные маркеры аспонтанности поведения, включая данные нейровизуализации, исследованы недостаточно. Для тестирования нейроанатомических основ спонтанности/аспонтанности адекватным представляется исследование воображаемого выполнения движения методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Цель работы – выявление особенностей церебрального структурно-функционального обеспечения воображаемого движения руки у пациентов с черепно-мозговой травмой (n = 12, возраст 27,33±9,8 лет) при наличии и отсутствии признаков аспонтанности поведения – на основе сопоставления с нормой (n = 13, возраст 24,5±5 лет). фМРТ 3Т записывали при сжимании-разжимании пальцев правой руки в кулак, а также при мысленном представлении выполнения этого движения. Выявлено, что у пациентов с ЧМТ без аспонтанности поведения (n = 12) основные черты нейроанатомии «воображаемого» фМРТ-ответа, хотя и ослабленного, обедненного по составу по сравнению с нормой, сходны со здоровыми испытуемыми: активация разных отделов правой гемисферы, а также прецентральной коры обоих полушарий. Характерной для пациентов с аспонтанностью (n = 4) является ограниченность «воображаемого» фМРТ-ответа либо дополнительной моторной корой, либо в ее сочетании с активацией прецентральной или теменной коры только правого полушария. Полагаем, что указанная ограниченность «воображаемого» гемодинамического ответа при ареактивности левой гемисферы относится к числу фМРТ маркеров аспонтанности поведения у пациентов с ЧМТ.

Ключевые слова: аспонтанность поведения, функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), реальное и воображаемое движение, черепно-мозговая травма

PECULIARITIES OF fMRI RESPONSES DURING REAL AND IMAGINARY MOVEMENTS IN PATIENTS WITH AND WITHOUT BEHAVIOR ASPONTANEITY AFTER TRAUMATIC BRAIN INJURY

**¹Sharova E.V., ²Kaverina M.Yu., ¹Kuleva A.Yu., ¹Boldyreva G.N., ²Smirnov A.S.,
¹Zhavoronkova L.A., ¹Kuptsova S.V., ²Troshina E.M.**

¹*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, e-mail: esharova@nsi.ru;*

²*Federal State Autonomous Institution “N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow*

Spontaneity is one of the important components of human behavior, i.e. the ability to act actively under the influence of internal motives. Its violations (aspontaneity) can impede the process of neurorehabilitation of patients with traumatic brain injury. Objective markers of aspontaneity, including neuroimaging data, have not been adequately studied. The most suitable method for studying the neuroanatomy of spontaneity/aspontaneity seems to be the fMRI method with the task of imaginary movement, which implies that a person understands the conditions of the task, retains it in memory, and is included in the task. The aim of this work is to compare fMRI responses to real and imaginary hand movements in patients with traumatic brain injury (n = 12, age 27.33 ± 9.8 years) with and without signs of spontaneous behavior compared with healthy controls (n = 13, age 24.5 ± 5 years). 3T fMRI was recorded while clenching and unclenching the fingers of the right hand into a fist, as well as while imagining the execution of this movement. It was found that in patients with TBI without behavior aspontaneity (n = 12), the main features of the neuroanatomy of the “imaginary” fMRI response, although weakened, depleted in composition compared to the healthy controls, are similar to them: activation of different parts of the right hemisphere, as well as the precentral cortex of both hemispheres. Characteristic for patients with aspontaneity (n = 4) is the limitation of the “imaginary” fMRI response either to the additional motor cortex, or in combination with activation of the precentral or parietal cortex of only the right hemisphere. We suppose that the indicated limitation of the “imaginary” hemodynamic response in the presence of unresponsiveness of the left hemisphere is one of the fMRI markers of behavior aspontaneity in patients with TBI.

Keywords: behavior aspontaneity, fMRI, real and imaginary movement; traumatic brain injury

Важнейшей составляющей психической деятельности человека является спонтанность (лат. *spontaneus* – самопроизвольный) – способность активно действовать под влиянием внутренних побуждений [1]. Это свойство характерно для человека с достаточно высоким уровнем сознания и коммуникативных возможностей, мысли и действия которого, по мнению И.М. Сеченова, «направлены делом, мотивом». В то же время разные формы церебральной патологии могут сопровождаться нарушениями этой способности [2] или аспонтанностью (АСП), т.е. нарушением программируемого целенаправленного поведения, внутренней бездеятельностью пациента, существенно затрудняя процесс нейрореабилитации. Наличие АСП связывается в литературе с дисфункцией (повреждением) медиальных отделов лобных, а также теменно-затылочных областей мозга [3].

Выявление признаков АСП возможно при общении пациента с врачом (нейропсихологом) либо с помощью специальных нейропсихологических тестов [4]. Вместе с тем объективные маркеры, как спонтанности поведения, так и нарушений этого свойства, базирующиеся на нейрофизиологических или нейровизуализационных методах, исследованы недостаточно.

В нашей предыдущей работе по определению нейрофизиологических коррелятов произвольного компонента двигательного акта [5] было проведено сопоставление ЭЭГ-ответов в задачах «сжатие-разжатие пальцев руки в кулак» и «обратный счет в уме» у здоровых испытуемых. Выявлено, что топографические паттерны когерентности ЭЭГ, сходные для обоих тестов в норме (изменения в лобных корковых областях, преобладающие слева, а также в симметричных теменных отделах), нарушались при аспонтанности поведения после черепно-мозговой травмы (ЧМТ). Отличия от нормы заключались в отсутствии согласованных билатеральных изменений когерентности в симметричных лобно-полюсных корковых областях и выраженном ослаблении реактивности в теменной зоне, сконцентрированной при патологии справа. Выявленные пространственные паттерны ЭЭГ, согласующиеся по топографии с данными литературы [3], были отнесены к числу нейрофизиологических маркеров произвольности двигательного акта.

Можно полагать, что более сложной задачей для пациентов с аспонтанностью является не реальное выполнение моторного акта разной сложности, а его представление. Эта парадигма подразумевает понима-

ние человеком условия задачи, ее удержание в памяти и включенность в задание. Кроме того, предполагается, что человек хорошо представляет схему своего тела и способен мысленно воспроизвести именно движение, а не его стороннее созерцание. Показана эффективность приема мысленного представления движений для нейрореабилитации разных форм церебральной патологии [6, 7]. При использовании данного теста в норме и при патологии многие исследователи для лучшего представления о структурно-функциональном церебральном обеспечении реализации воображения движения привлекают метод фМРТ [8], обладающий лучшим пространственным разрешением по сравнению с ЭЭГ.

Цель работы – выявление особенностей церебрального структурно-функционального обеспечения воображаемого движения руки у пациентов с черепно-мозговой травмой при наличии и отсутствии признаков аспонтанности поведения.

Задачи работы: 1) исследовать фМРТ-ответы при реальном и воображаемом движении руки у пациентов с черепно-мозговой травмой а) при наличии и б) при отсутствии признаков аспонтанности поведения; 2) сопоставить двигательные фМРТ-ответы пациентов и здоровых испытуемых.

Материалы и методы исследования

Основную группу наблюдений составили 12 пациентов (мужчины в возрасте $27,33 \pm 9,8$ лет), обследованных в период от 1 недели до 11 месяцев после ЧМТ. Клинически травма расценивалась как тяжелая или среднетяжелая (4 наблюдения). По данным структурной нейровизуализации (КТ, МРТ), она сопровождалась множественными повреждениями головного мозга: различные варианты ушибов с отеком, интракраниальные гематомы (у 8 пациентов) в сочетании с диффузным аксональным повреждением (ДАП).

При исследовании все пациенты были доступны контакту и способны выполнять простые двигательные акты по инструкции врача. Согласно нейропсихологической оценке (беседа с пациентом и родственниками), у 4 человек выявлялась аспонтанность в поведении (сложность в произвольном начале деятельности, безынициативность в быту, проблематичность удержания программы действий, равнодушие к происходящему), тогда как у 12 она не проявлялась.

Группу контроля составили 13 здоровых испытуемых (8 мужчин, 5 женщин) в возрасте $24,5 \pm 5$ лет. У всех испытуемых, согласно опроснику Аннетт, ведущей была правая рука.

Были проанализированы фМРТ-ответы при выполнении реального движения (сжатие в кулак – разжимание пальцев правой руки) и его мысленном представлении.

ФМРТ-исследования проводили на МР-томографе GE Healthcare (США) с напряженностью магнитного поля 3Т, по единому стандартизированному протоколу получения и анализа данных [9]. Использовалась блоковая парадигма эксперимента: чередование периодов покоя и выполнения двигательной пробы длительностью по 30 с – все при закрытых глазах. Усреднялись результаты пятикратного проведения каждой пробы. Данные фМРТ обрабатывались с помощью программы SPM 8 в среде Matlab 7.0. Коррекция артефактов движения выполнялась по стандарту *generalized linear model (GLM)*.

В каждом исследовании оценивали статистически (по критерию Стьюдента) увеличение локального кровенаполнения мозговой ткани (+BOLD-эффект) в коре и подкорковых образованиях при выполнении двигательного теста по сравнению с фоном. Для определения пространственного нахождения активированных зон (MNI координаты) и их объема (Vox) использовался программный пакет AAL (Automated Anatomical Labeling).

Были проанализированы индивидуальные (в норме и патологии) и групповые (в норме) изменения гемодинамики при двигательных тестах. Учитывались результаты обработки фМРТ на уровне достоверности $p < 0,001$: с поправкой на множественность сравнений FWE в индивидуальных ответах, без этой поправки – в групповых. В группе нормы активацию отдельных моз-

говых структур при реальном и воображаемом движении сопоставляли с помощью парного t-теста (*paired t-test*).

Проводили сравнительную оценку топографии фМРТ-ответов при реальном и воображаемом движении у здоровых людей и пациентов с наличием и отсутствием аспонтанности (АСП) поведения.

Исследования были выполнены в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, после получения информированного согласия и одобрения этическим комитетом ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии», а также ИВНД и НФ РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приводятся усредненные данные группового анализа двигательных фМРТ-ответов – реальных и воображаемых, выполненного у *здоровых испытуемых*. Эти данные были использованы в качестве эталонных для исследований при патологии.

Было установлено, что в норме *при сжатии пальцев в кулак* правой руки к числу характерных зон активации относятся: сенсомоторная кора левого полушария (области пре- и постцентральной извилин контралатерального по отношению к работающей руке полушария) – основной корковый ответ; дополнительная моторная кора (медиальные отделы верхней лобной извилины), ответственная за подготовку действия и расположенная, а также правое (ипсилатеральное движению) полушарие мозжечка (рис 1, 2). В табл. 1 эти активированные структуры представлены в формализованном виде.

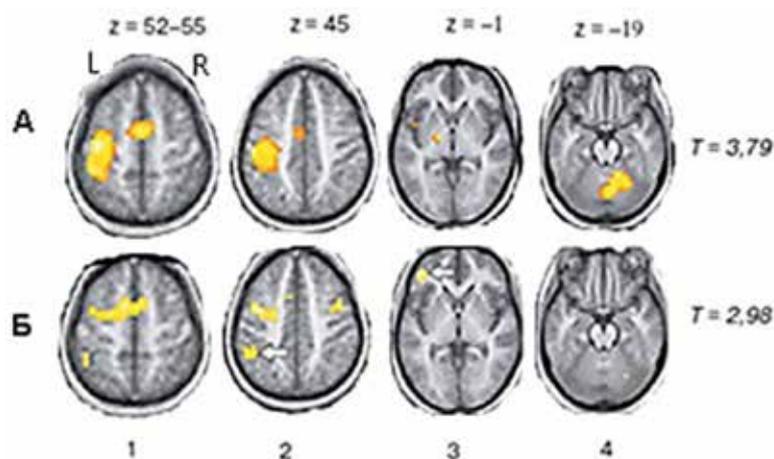


Рис. 1. Усредненные по группе здоровых испытуемых данные функциональной магнитно-резонансной томографии при реальном и воображаемом движении правой рукой ($n = 13$, $p < 0,001$):

А – реальное движение; Б – воображаемое движение.

1–4 – идентичные для двух проб срезы объемного изображения мозга.

Над рисунком – Z-координаты доминирующих на срезах зон активации (в мм).

Желтый цвет – зоны активации при нагрузке по сравнению с фоном

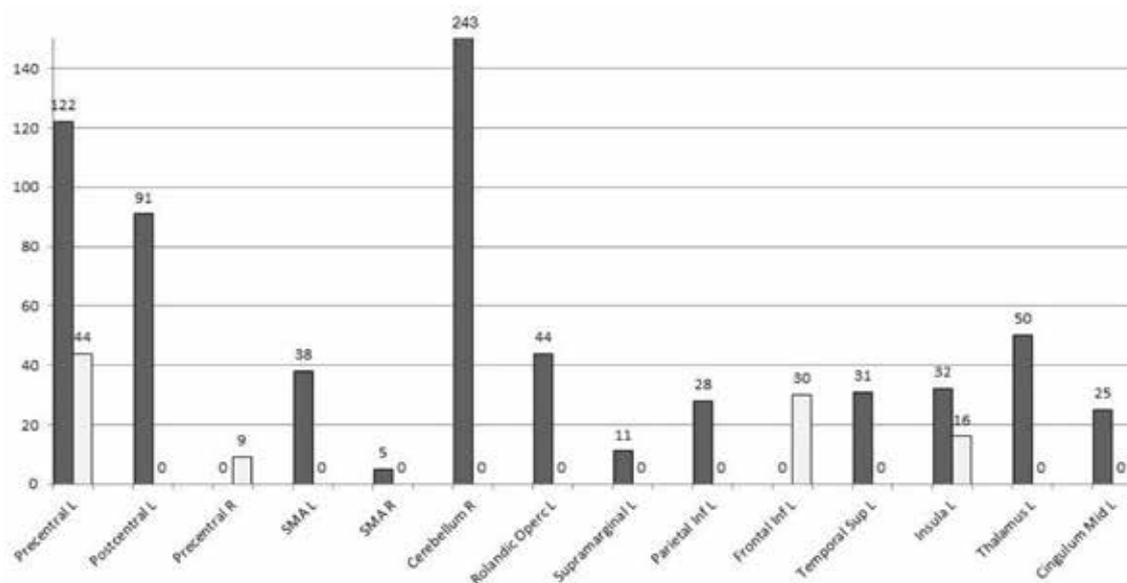


Рис. 2. Отличия объема фМРТ-активации разных структур мозга при реальных и воображаемых движениях правой рукой по результатам парного t -теста ($n = 13$, $p < 0,001$, $T = 3,79$). По оси ординат – объем активации Vox. Темные столбики: представление меньше движения. Светлые столбики: представление больше движения

Анализ фМРТ-ответов при мысленном представлении выполнения движения здоровыми людьми показал выраженную индивидуальную вариативность активации разных отделов мозга. Это может быть объяснено различиями как стратегии реализации данного теста, так и тренированности испытуемых.

Сравнительная оценка групповых фМРТ-ответов (с использованием парного t -теста) выявила 1) значительно меньшую интенсивность активации при воображаемом движении по сравнению с реальным; 2) неидентичность топографии ответов с появлением при воображаемом движении дополнительных зон активации в теменной и лобной коре (на рис. 1 отмечено стрелками), а также в левой островковой зоне; 3) практическое отсутствие при воображаемом движении ответов в мозжечке. Таким образом, изменяется как соотношение активируемых структур, так и их топография при воображаемом движении по сравнению с реальным: ослабление фМРТ-ответов, наиболее резко выраженное в мозжечке и сенсомоторной области, наряду с вовлечением областей правого (ипсилатерального движению) полушария и лобных долей.

Выявленное усиление участия в фМРТ-ответе при воображении движения лобных и теменных отделов полушарий согласуется с топографией ЭЭГ-маркеров произвольного компонента движения [5] и может отра-

жать преобладание активации компонентов сети управляющих функций при представлении движения по сравнению с реальным его выполнением.

В группе с ЧМТ при выполнении реального движения правой рукой у всех пациентов отмечалось сходство топографии фМРТ-ответа с нормой (рис. 3–5 I). В демонстрируемых наблюдениях с ЧМТ показана активация таких структур, как левая пре- и постцентральная извилины, дополнительная моторная кора и правая гемисфера мозжечка, а также ряд других областей, характерная для здоровых испытуемых (табл. 1). Наибольшей вариативностью при патологии характеризуется вовлеченность нижней лобной извилины, нетипичная для двигательного ответа в норме.

ФМРТ-ответы при воображаемом движении правой руки у пациентов с ЧМТ отличались большей индивидуальной вариативностью по сравнению со здоровыми людьми: от полного отсутствия активации до идентичности изменений гемодинамики при реальном и воображаемом двигательных тестах. К числу объяснений этого факта можно отнести различия индивидуальных стратегий: вероятное игнорирование инструкции либо выполнение реального движения на просьбу его представления. Указанная вариативность подтверждала обоснованность индивидуализированного подхода к анализу «воображаемых» фМРТ-ответов.

Таблица 1

Представленность активированных структур при реальном движении правой руки у здоровых испытуемых и пациентов с черепно-мозговой травмой по данным функциональной магнитно-резонансной томографии

	Precentral L	Postcentral L	Precentral R	SMA L	SMA R	Cerebellum R	Rolandic Operc L	Supramarginal L	Parietal Inf L	Frontal Inf L	Temporal Sup L	Insula L	Thalamus L	Cingulum Mid L
Норма (n = 13)	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Пац. Ф-ров	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Пац. Ф-ев	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Пац. Б.	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Пац. О-в	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+

По горизонтали – наименование структур. В ячейках: (+) – активация выражена, (-) – активация отсутствует. По вертикали – наблюдения; жирным шрифтом – пациенты с аспонтанностью поведения.

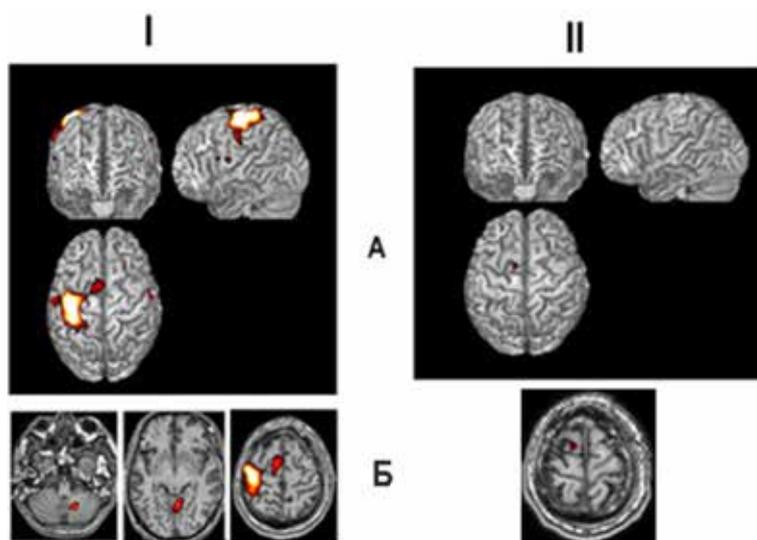


Рис. 3. Данные функциональной магнитно-резонансной томографии при двигательных тестах пациента Б. с аспонтанностью поведения после черепно-мозговой травмы.

I – реальное сжатие пальцев правой руки в кулак. II – воображаемое движение.

A – активация в объемном изображении больших полушарий мозга.

Б – активация на аксиальных срезах объемного изображения мозга. p (FWE-corr) < 0,01.

Желтый и красный цвет – зоны активации при нагрузке по сравнению с фоном

В случаях выраженности «воображаемого» фМРТ-ответа в патологии характерным для него являлось: резкое ослабление уровня активации по сравнению с реальным движением, а также присущее норме наличие гемодинамических сигналов в дополнительной моторной коре при практическом отсутствии активации мозжечка (рис. 3–5, табл. 2). Хотя вариативность «воображаемых» фМРТ-ответов затрудняла их систематизацию, отмечен ряд специфиче-

ских особенностей у пациентов с наличием и отсутствием АСП.

У пациентов с аспонтанностью поведения, выявляемой в период наблюдения от одной недели до двух месяцев после ЧМТ, «воображаемый» фМРТ-ответ ограничивался лишь дополнительной моторной корой (рис. 3 II), либо сочетался с небольшим объемом изменениями в правой прецентральной и теменной (рис. 4, табл. 2) и/или лобной области (2 наблюдения). ЧМТ

пациентов с АПС характеризовалась наличием локальных повреждений разного типа в правой гемисфере: в теменно-затылочной, височной, лобно-височной областях, а также в проекции бедра внутренней капсулы.

Пациенты без аспонтанности поведения были обследованы в период от 2 недель до 11 месяцев после ЧМТ. Поражение мозга у этих пострадавших носило вариативный и диффузный характер: ДАП, множественные двухсторонние корково-подкорковые контузионные или геморрагические очаги, субарахноидальное кровоизлияние. На этом фоне более локальное повреждение у двух пациентов выявлялось в височной и затылочной областях левого полушария, еще у двух (обследованных через 3 и 8 месяцев после травмы) в остром периоде оно обнаруживалось в правой гемисфере.

В «воображаемых» фМРТ-ответах пациентов без АСП, на фоне также значительного разнообразия изменений, отмечена активация, наряду с дополнительной моторной корой, правой прецентральной (рис. 5 I) и теменной (рис. 5 II) областей, также зон левого полушария: прецентральной, теменной и височной зоны Брока (рис. 5, табл. 2). В одном наблюдении была выявлена, кроме того, двухсторонняя активация гиппокампа.

В литературе к числу распространенных относится представление о том, что структурное обеспечение воображаемого движения аналогично реально выполняемому движению [8, 10, 11]. Однако накопление

экспериментальных данных приводит к представлению о том, что в теоретическом плане нейрофизиология воображаемого движения исследована недостаточно [12].

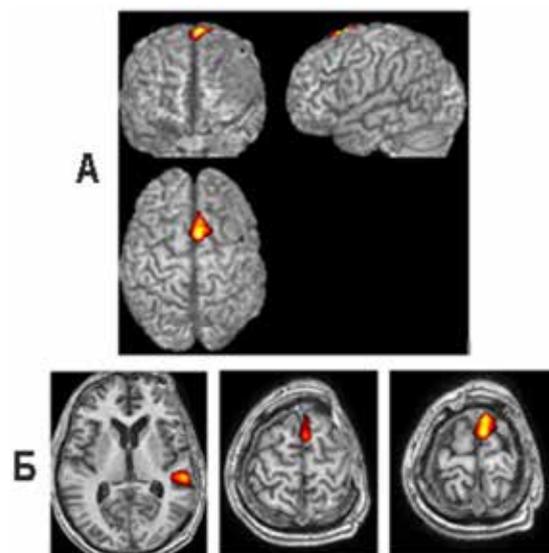


Рис. 4. Данные функциональной магнитно-резонансной томографии при двигательных тестах пациента О-ва с аспонтанностью поведения после черепно-мозговой травмы. А – активация в объемном изображении мозга. Б – активация на аксиальных срезах. p (FWE-corr) < 0,01. Желтый и красный цвет – зоны активации при нагрузке по сравнению с фоном

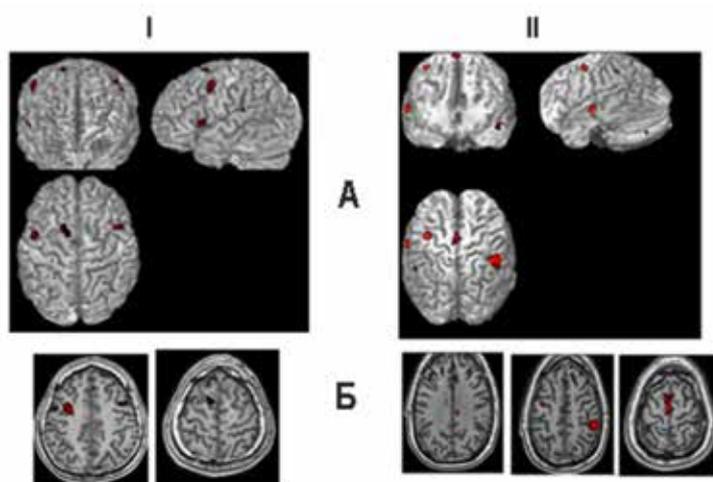


Рис. 5. Примеры функциональной магнитно-резонансной томографии при воображаемом движении правой руки у пациентов с ЧМТ без признаков аспонтанности поведения. I – пациент Ф-ров через 1 месяц после травмы, II – пациент Ф-ев через 2 месяца после травмы. А – активация в объемном изображении мозга. Б – активация на аксиальных срезах. p (FWE-corr) < 0,01. Красный цвет – зоны активации при нагрузке по сравнению с фоном

Таблица 2

Представленность активированных структур при воображаемом движении правой руки у здоровых испытуемых и пациентов с черепно-мозговой травмой по данным функциональной магнитно-резонансной томографии

	Precentral L	Postcentral L	Precentral R	SMA L	SMA R	Cerebellum R	Rolandic Operc L	Supramarginal L	Parietal Inf L	Frontal Inf L	Temporal Sup L	Insula L	Parietal Inf R	Cingulum Mid L
Норма (n = 13)	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-
Пац. Ф-ров	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+
Пац. Ф-ев	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-
Пац. Б.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пац. О-в	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-

По горизонтали – наименование структур (согласно верификации по атласу AAL).

В ячейках: (+) – активация выражена, (-) – активация отсутствует. По вертикали – наблюдения; жирным шрифтом – пациенты с аспонтанностью поведения.

Продемонстрированная в настоящей работе неидентичность функциональной нейроанатомии реального и воображаемого движений в норме и при церебральной патологии подтверждается также данными фМРТ-ЭЭГ и ЭЭГ-исследований [9, 13]. Отличительными особенностями нейроанатомии воображаемого движения нормы являются меньшая сфокусированность ответа, двухсторонняя активация премоторной коры, вовлечение теменных отделов полушарий, а также левой лобной доли. Данные когерентного анализа ЭЭГ свидетельствуют об участии в обеспечении воображаемого движения здорового человека правого полушария – независимо от представления движения правой или левой руки [9]. Указанный факт может быть обусловлен преимущественной значимостью правой гемисферы в организации пространственно-образной деятельности, саморегуляции [14] и ощущении владения телом [15].

В нашем исследовании показано, что у пациентов с ЧМТ без аспонтанности поведения основные черты нейроанатомии «воображаемого» фМРТ-ответа, хотя и ослабленного, обедненного по составу по сравнению с нормой, сходны со здоровыми испытуемыми: активация разных отделов правой гемисферы, а также периприцентральной коры обоих полушарий. Характерной для пациентов с АСП является ограниченность «воображаемого» фМРТ-ответа либо дополнительной моторной корой, либо в сочетании с активацией прецентральной или теменной коры только

правого полушария. Сопоставляя полученные данные с литературными [3, 5], можно полагать, что способность к согласованной деятельности лобных, прецентральных и теменных областей обоих полушарий является функциональной основой спонтанного поведения.

Заключение

К числу фМРТ-маркеров аспонтанности поведения у пациентов с ЧМТ можно отнести ограниченность «воображаемого» гемодинамического ответа дополнительной моторной корой либо в сочетании с активацией отдельных регионов правого полушария – при ареактивности левой гемисферы. Способность к согласованной деятельности лобных, прецентральных и теменных областей обоих полушарий является функциональной основой программируемого, целенаправленного (спонтанного) поведения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-01002 мк.

Список литературы

- Орехова Н.В. Спонтанность как психологическое понятие // Сибирский психологический журнал. 2014. № 51. С. 7–19.
- Зейгарник Б.В. Основы патопсихологии. 3-е изд. М.: Юрайт, 2017. С. 141–153.
- Хомская Е.Д. Нейропсихология. 4-е изд. СПб.: Питер, 2005. 496 с.
- Визель Т.Г. Основы нейропсихологии: учебник для студентов вузов. М.: АСТАстрель, 2005. 384 с.
- Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А., Ярец М.Ю., Каверина М.Ю., Трошина Е.М., Кроткова О.А. Поиск ЭЭГ-маркеров произвольного компонента двигатель-

ной активности человека // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 3. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=29818> (дата обращения: 26.02.2022). DOI: 10.17513/spno.29818.

6. Котов С.В., Турбина Л.Г., Бирюкова Е.В., Фролов А.А., Кондур А.А., Зайцева Е.В., Бобров П.Д. Реабилитационный потенциал постинсультных больных, обучающихся кинестетическому воображению движения – двигательный и когнитивный аспекты // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 5. С. 52–62. DOI:10.7868/S0131164617050095.

7. Caligiore D., Mustile M., Spalletta G., Baldassarre G. Action observation and motor imagery for rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review and an integrative hypothesis. // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017. Vol. 72. P. 210–222. DOI:10.1016/j.neubiorev.2016.11.005.

8. Столбков Ю.К., Мошонкина Т.Р., Орлов И.В., Томиловская Е.С., Козловская И.Б., Герасименко Ю.П. Нейрофизиологические корреляты реальной и воображаемой локомоции // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 1. С. 119–130. DOI: 10.1134/S0131164619010156.

9. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А., Челябинина М.В., Дубровская Л.П., Симонова О.А., Фадеева Л.Н., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. Структурно-функциональные особенности работы мозга при выполнении и представлении двигательных нагрузок у здоровых людей (ЭЭГ и фМРТ исследования) // ЖВНД им. И.П. Павлова. 2013. Т. 63. № 3. С. 316–327.

10. Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*. 2001. Vol. 14. No. 1. P. S103.

11. Frolov A.A., Husek D., Bobrov P.D., Mokienko O.A., Chernikova L.A., Kononov R.N. Localization of brain electrical activity sources and hemodynamic activity foci during motor imagery. *Human Physiology*. 2014. Vol. 40. No. 3. P. 273–283. DOI: 10.1134/S0362119714030062.

12. Glover S., Baran M. The Motor-Cognitive Model of Motor Imagery: Evidence From Timing Errors in Simulated Reaching and Grasping. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 2017. Vol. 43. No. 7. P. 1359.

13. Котов С.В., Турбина Л.Г., Бирюкова Е.В., Фролов А.А., Кондур А.А., Зайцева Е.В., Бобров П.Д. Электрофизиологическая активность мозга при управлении интерфейсом мозг – компьютер, основанном на воображении движения // Физиология человека. 2017. Т. 43. № 5. С. 17–28. DOI:10.7868/S0131164617050095.

14. Velichkovskiy B.M., Krotkova O.A., Kotov A.A., Orlov V.A., Verkhlyutov V.M., Ushakov V.L., Sharaev M.G. Consciousness in a multilevel architecture: Evidence from the right side of the brain. *Consciousness and cognition*. 2018. Vol. 64. P. 227–239. DOI: 10.1016/j.concog.2018.06.004.

15. Lopez C., Halje P., Blanke O. Body ownership and embodiment: Vestibular and multisensory mechanisms. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2008. No. 38. P. 149–161. DOI: 10.1016/j.neucli.2007.12.006.

СТАТЬИ

УДК 004.43

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ
НА ЯЗЫКЕ PYTHON**

Барганалиева Ж.К., Султанбаева Г.С., Асанбекова Н.О.

Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек,

e-mail: barganalieva@mail.ru, gul_878787@mail.ru

Существует два способа решения задач оптимизации (ЗО). Задачи линейного программирования (ЗЛП), во-первых, могут быть решены аналитически, используя определенный метод решения общей постановки задачи. Однако для решения ЗЛП аналитическим способом, а именно методом множителей Лагранжа, когда целевая функция (ЦФ) и ограничения дифференцируются, создается множество сложностей для вычисления. В данном случае даже для минимального числа переменных и ограничений, решение ЗЛП приводит к нахождению частных производных функции Лагранжа с дальнейшим решением системы уравнений с множеством неизвестных. Отсюда вытекает сложность применения аналитического способа решения ЗЛП. Второй подход для решения ЗЛП позволяет использовать алгоритмические методы решения, применимые для решения ЗО в постановке общего вида. Эти подходы решения ЗЛП базируются на идее градиентного поиска для ЗО с ограничивающими условиями. Тем не менее на практике широко распространены алгоритмические методы решения ЗЛП, с учетом специфики ЦФ и множества допустимых решений. Из всех методов наиболее распространенным считается симплекс-метод для решения ЗЛП и метод потенциалов для решения транспортной задачи (ТЗ). Для решения поставленной задачи применяем модуль оптимизации SciPy – для Python. Результаты вычислений рассматриваемой задачи оцениваем, сравнивая разные методы вычислений: аналитическое и алгоритмическое решения. В нынешнее время в Кыргызской Республике рынок по производству натуральных безалкогольных напитков (НБН) очень насыщен и разнообразен. Рынок Кыргызстана предоставляет множество ассортиментов напитков своих национальных, а также напитков из дальнего и ближнего зарубежья. С улучшением качества продукции по выпуску НБН, по экономической теории, повышается спрос на этот продукт. Соответственно, рождаются новые конкуренты на рынке по производству данного продукта.

Ключевые слова: производство, натуральные безалкогольные напитки, линейное программирование, задачи, оптимизация, способы решения, программа, транспортная проблема

MODELING OF LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS IN PYTHON

Barganalieva Zh.K., Sultanbaeva G.S., Asanbekova N.O.

Arabaev Kyrgyz State University, Bishkek, e-mail: barganalieva@mail.ru, gul_878787@mail.ru

There are two ways to solve optimization problems (OS). Linear programming problems (LPPs), firstly, can be solved analytically using a certain method for solving the general problem statement. However, to solve the LLP in an analytical way, namely by the method of Lagrange multipliers, when the objective function (TF) and constraints are differentiated, many difficulties are created for the calculation. In this case, even for the minimum number of variables and constraints, solving the LLP leads to finding the partial derivatives of the Lagrange function with further solving a system of equations with many unknowns. This implies the complexity of applying the analytical method for solving the LLP. The second approach for solving the LPP allows using algorithmic solution methods applicable for solving the SO in a general setting. These approaches for solving the LLP are based on the idea of gradient search for a constrained SR. Nevertheless, in practice, algorithmic methods for solving the LLP are widely used, taking into account the specifics of the digital filter and the set of feasible solutions. Of all the methods, the simplex method for solving the LPP and the method of potentials for solving the transport problem (TP) are considered the most common. To solve the problem, we use the SciPy optimization module – for Python. The calculation results of the problem under consideration are evaluated by comparing different calculation methods: analytical and algorithmic solutions. At the present time in the Kyrgyz Republic, the market for the production of natural non-alcoholic beverages (NBN) is very rich and diverse. The market of Kyrgyzstan provides many assortments of national drinks, as well as drinks from near and far abroad. With the improvement in the quality of products for the production of MFN, according to economic theory, the demand for this product increases. Accordingly, new competitors are born in the market for the production of this product.

Keywords: production, natural soft drinks, linear programming problem, optimization, solution methods, program, transport problem

Существует два способа решения задач оптимизации (ЗО). Задачи линейного программирования (ЗЛП), во-первых, могут быть решены аналитически, используя определенный метод решения общей постановки задачи.

Однако для решения ЗЛП аналитическим способом, а именно методом множителей Лагранжа, когда целевая

функция (ЦФ) и ограничения дифференцируются, создается множество сложностей для вычисления.

В данном случае, даже для минимального числа переменных и ограничений, решение ЗЛП приводит к нахождению частных производных функции Лагранжа с дальнейшим решением системы уравнений с множеством неизвестных. Отсюда выте-

кает сложность применения аналитического способа решения ЗЛП.

Второй подход для решения ЗЛП позволяет использовать алгоритмические методы решения, применимые для решения ЗО в постановке общего вида. Эти подходы решения ЗЛП базируются на идее градиентного поиска для ЗО с ограничивающими условиями. Тем не менее на практике широко распространены алгоритмические методы решения ЗЛП, с учетом специфики ЦФ и множества допустимых решений. Из всех методов наиболее распространенным считается симплекс-метод для решения ЗЛП и метод потенциалов для решения транспортной задачи (ТЗ).

Для решения поставленной задачи применяем модуль оптимизации SciPy – для Python. Результаты вычислений рассматриваемой задачи оцениваем, сравнивая разные методы вычислений: аналитическое и алгоритмическое решения.

Материалы и методы исследования

В нынешнее время в Кыргызской Республике рынок по производству натуральных безалкогольных напитков (НБН) очень насыщен и разнообразен. Рынок Кыргызстана предоставляет множество ассортиментов напитков своих национальных, а также напитков из дальнего и ближнего зарубежья.

С улучшением качества продукции по выпуску НБН, по экономической теории, повышается спрос на этот продукт. Соответственно, рождаются новые конкуренты на рынке по производству данного продукта. НБН можно классифицировать следующим образом:

- НБН с молочным составом (Чалап, Тан);
- НБН с зерновым составом (Шоро Максым);
- НБН минерально-лечебные воды (Легенда, Жалал-Абад, Ысык-Ата и др.) [1].

Рассмотрим задачу упрощенного типа перевозки. У нас есть множество клиентов натуральных безалкогольных напитков

(НБН) $I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ и множество предприятий по производству НБН $J = \{1, 2, 3\}$. У каждого покупателя есть фиксированная потребность в натуральных безалкогольных напитках p_i , и у каждого предприятия есть фиксированная производственная мощность M_j . Также существуют фиксированные транспортные расходы на доставку одной единицы товара с производства j покупателю i .

Математически эту задачу оптимизации можно описать следующим образом:

Найти минимум

$$L(x) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = p_i, i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq M_j, j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, i \in I, j \in J. \quad (4)$$

Теперь, условия задачи (1)–(4) можно записать в виде следующей таблицы.

Решив задачу способом [2, 3], определим оптимальный план.

Наша задача – доставить каждому покупателю необходимое количество НБН (удовлетворить покупательский спрос и производственные мощности фабрик) с минимальными общими транспортными расходами. Чтобы сформулировать эту ситуацию как задачу оптимизации, мы должны разделить ее на три основных компонента:

– *Переменные решения* – количества товаров, которые должны быть отправлены с производства j покупателю i (положительные действительные числа).

– *Ограничения* – общее количество товаров НБН должно удовлетворять как потребительский спрос, так и производственные мощности фабрики (равенства / неравенства, которые имеют линейное выражение в левой части).

– *ЦФ* – найти такие значения переменных решения, при которых общая стоимость перевозки будет наименьшей (в данном случае линейное выражение).

Условия задачи (1)–(4)

Транспортные расходы c_{ij}	Покупатель i					Производственная мощность M_j	
	1	2	3	4	5		
НБН j	1	4	5	6	8	10	500
	2	6	4	3	5	8	500
	3	9	7	4	2	4	500
спрос p_i		80	270	250	160	180	

С точки зрения оптимизации эта конкретная ситуация представляет собой проблему *смешанного целочисленного линейного программирования*, поскольку переменные решения не ограничиваются целыми числами (целочисленное програм-

мирование), а в соответствии с бизнес-логикой все ограничения и ЦФ являются линейными. Наличие только одной бизнес-цели делает ее одноцелевой оптимизационной задачей (также возможна многокритериальная оптимизация) [4].

Приступим к реализации решения на Python [5].

```
import sys
import numpy as np
p = {1:80, 2:270, 3:250, 4:160, 5:180} # Спрос потребителя
M = {1:500, 2:500, 3:500} # Производственная мощность
I = [1,2,3,4,5] # Покупатели
J = [1,2,3] # Производители
st_per = {(1,1):4, (1,2):6, (1,3):9,
          (2,1):5, (2,2):4, (2,3):7,
          (3,1):6, (3,2):3, (3,3):3,
          (4,1):8, (4,2):5, (4,3):3,
          (5,1):10, (5,2):8, (5,3):4
          } # стоимость перевозки
st_per2p = np.empty([len(I), len(J)])
for i in range(len(I)):
    for j in range(len(J)):
        st_per2p[i,j] = st_per[i+1,j+1]
x0 = np.ones(len(st_per))*100
bounds = list((0,max(p.values())) for _ in range(st_per2p.size))
def ob(x):
    ob_func = sum(x[idx]*st_per2p[idx//len(J), idx%len(J)] for idx in range(st_per2p.size))
    return ob_func
# Ограничения: сумма товаров == покупательский спрос
def st_per1():
    tmp = []
    for idx in range(0, st_per2p.size, len(J)):
        tmp_constr = {
            'type': 'eq',
            'fun': lambda x, idx: p[idx//len(J) + 1] - np.sum(x[idx: idx + len(J)]),
            'args': (idx,)
        }
        tmp.append(tmp_constr)
    return tmp
# Ограничения: сумма товаров <= производственная мощность
def st_per2():
    tmp = []
    for idx in range(0, st_per2p.size, len(I)):
        tmp_constr = {
            'type': 'ineq',
            'fun': lambda x, idx=idx: M[idx//len(I) + 1] - np.sum(x[idx: idx + len(I)])
        }
        tmp.append(tmp_constr)
    return tmp
list_of_lists = [st_per1(), st_per2()]
constraints = [item for sublist in list_of_lists for item in sublist]
from scipy.optimize import minimize
solution = minimize(fun = ob,
                   x0 = x0,
                   bounds = bounds,
                   method = 'SLSQP',
                   constraints = constraints,
                   tol = None,
```

```

        callback = None,
        options = {'full_output':False, 'disp':False, 'xtol': 1e-8}
    )
if (solution.success) and (solution.status == 0):
    print("Оптимальное решение найдено")
    print("Значение целевой функции = ", solution.fun)
elif solution.status != 0:
    print("Ошибка при нахождении решения. EXIT CODE", solution.status)
else:
    # при возникновении ошибки
    print(solution.message)
if solution.success:
    EPS = 1.e-6
    for i,_ in enumerate(solution.x):
        if solution.x[i] > EPS:
            print("отправка количества %5s с производства %2s заказчику %3s" %
(round(solution.x[i]), i%len(J) + 1, i//len(J) + 1))

```

Результаты исследования и их обсуждение

При запуске программы получаем следующий ответ:

Оптимальное решение найдено

Значение целевой функции = 3350.0000000194086

отправка количества 80 с производства 1 заказчику 1

отправка количества 270 с производства 2 заказчику 2

отправка количества 125 с производства 2 заказчику 3

отправка количества 125 с производства 3 заказчику 3

отправка количества 160 с производства 3 заказчику 4

отправка количества 180 с производства 3 заказчику 5

Заключение

Итак, из оптимального решения следует вывод: при заданных условиях задачи (2)–(4) мы нашли значение целевой функции $L(x) = 3350$.

Список литературы

1. Жусупбаев А., Барганалиева Ж.К. Анализ состояния и перспектива развития рынка натуральных безалкогольных напитков Кыргызской республики // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 5. С. 63-65.

2. Эшенкулов П., Жусупбаев А., Култаев Т.Ч. Методика решения задач линейного программирования на компьютере. Ош, 2004. 61 с.

3. Жусупбаева Г.А., Жусупбаева Н.А. Задача оптимального прикрепления перерабатывающих предприятий за источником минеральных вод // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. № 5. С. 83-85.

4. Жусупбаев А., Асанкулова М., Чороев К. Математическая модель и методы соотношений экспорта и импорта продукции // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. № 5. С. 80-82.

5. Прохоренок Н.А., Дронов В.А. Python 3. Самое необходимое. СПб., 2016. 223 с.

УДК 678

РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Павлычева Е.А.

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина»,
Москва, e-mail: pavlychevaliza@mail.ru;

В работе представлены результаты разработки полимерной композиции для получения электроизоляционных покрытий с улучшенными электрофизическими и механическими свойствами. Данная полимерная композиция способна к отверждению при комнатной температуре и может быть использована для защиты электронных, радио- и электротехнических приборов, устройств, оборудования и их отдельных элементов. Полимерная композиция разработана на основе диметилсилоксанового каучука, катализатора К-18 и наполнителей – оксидов алюминия и галлия. Применение данных наполнителей в оптимальных количествах позволяет повысить диэлектрические характеристики получаемых покрытий. При этом оксид алюминия способствует стабилизации электроизоляционных свойств, а оксид галлия повышает адгезию к стальным и алюминиевым поверхностям, а также повышает поверхностную прочность покрытия, что дает дополнительную защиту изолируемой поверхности от механических воздействий. Если количество рассматриваемых наполнителей будет низким, то и электроизоляционные свойства покрытия будут невысокими. Избыток оксида алюминия вызывает нестабильность и анизотропию свойств покрытия, а избыток оксида галлия становится причиной ухудшения адгезии покрытия к обрабатываемой поверхности. Исследования показали, что использование данной полимерной электроизоляционной композиции обеспечивает более высокие по сравнению с известным и близким по составу покрытием электрофизические и механические защитные характеристики.

Ключевые слова: электроизоляционное покрытие, диметилсилоксановый каучук, оксид алюминия, оксид галлия, диэлектрическая проницаемость, удельное объемное электрическое сопротивление, адгезия

DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITION FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICAL INSULATION COATINGS

Pavlycheva E.A.

I.M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, e-mail: pavlychevaliza@mail.ru

The paper presents the results of the development of a polymer composition for obtaining electrical insulating coatings with improved electrophysical and mechanical properties. This polymer composition is capable of curing at room temperature and can be used to protect electronic, radio and electrical appliances, devices, equipment and their individual elements. The polymer composition is developed on the basis of dimethylsiloxane rubber, K-18 catalyzers and fillers – aluminum and gallium oxides. The use of these fillers in optimal quantities makes it possible to increase the dielectric characteristics of the coatings obtained. At the same time, aluminum oxide helps to stabilize the electrical insulating properties, and gallium oxide increases adhesion to steel and aluminum surfaces, as well as increases the surface strength of the coating, which provides additional protection of the insulated surface from mechanical influences. If the number of fillers under consideration is low, then the electrical insulation properties of the coating will be low. An excess of aluminum oxide causes instability and anisotropy of the coating properties, and an excess of gallium oxide causes a deterioration in the adhesion of the coating to the surface to be treated. Studies have shown that the use of this polymer electrical insulation package provides higher electrophysical and mechanical protective characteristics compared to the known and similar coating composition.

Keywords: electrical insulation coating, dimethylsiloxane rubber, aluminum oxide, gallium oxide, permittivity, specific volume electrical resistance, adhesion

Любой материал и изделия из него обладают определенными значениями свойств, которые определяют его возможные области применения и дают преимущества или недостатки перед другими материалами и изделиями. Для расширения областей применения, повышения эффективности использования, усиления преимуществ и уменьшения недостатков проводят модификации материалов с помощью добавок, совершенствуют технологии их получения и производства, создают изделия и конструкции из нескольких слоев, где каждый слой выполняет свои собственные функции.

Последний способ отличается универсальностью, сочетая в себе простоту и широкие возможности по комбинированию слоев, один из которых является основным и в большинстве случаев выполняет функции несущего каркаса для изделия или конструкции. Наносимые на эту основу слои выполняют одну или несколько функций, среди которых наиболее часто присутствуют теплоизоляция, гидроизоляция, пароизоляция, электроизоляция, огнезащита, а также защита от других внешних факторов и придание эстетичного внешнего вида [1–3]. При этом наносимые слои не-

обходимо наносить в определенной последовательности таким образом, чтобы наружные слои выполняли в первую очередь функции защиты от внешних воздействий различного характера и природы, а промежуточные слои, находящиеся между наружным или наружными и основным слоями, придавали дополнительные свойства материалу или конструкции, например снижали теплопроводность.

В зависимости от того, какие функции выполняют наружные или промежуточные защитные слои, их выполняют из различных материалов, среди которых наиболее распространенными являются материалы на полимерной основе, на основе стекла (эмали, глазури и др.), керамики, металлов и их сплавов, а также композиционные материалы, в которых перечисленные материалы являются связующими или наполнителями [4–6].

Одними из самых широких возможностей обладают композиционные материалы на полимерных связующих за счет большого разнообразия полимерных материалов, а также благодаря практически неограниченным сочетаниям как разных полимеров, так и разных наполнителей между собой [7–9].

В последнее время для получения материалов с высокими физико-механическими, в том числе по гидрофобным и адгезионным показателям, диэлектрическими и другими характеристиками, в качестве полимерных связующих часто используют различные кремнийорганические олигомеры и сополимеры [10–12]. Однако полиорганосилоксановые материалы обладают сравнительно невысокими физико-механическими свойствами, поэтому их наполняют различными наполнителями, в том числе оксидами различных металлов, таких как железо, цинк, титан и т.д. [13]. При этом существенно снижаются диэлектрические характеристики получаемых композиционных материалов, так как упомянутые оксиды металлов являются полупроводниками, что не дает использовать данные материалы в качестве электроизоляционных. В связи с этим большой научный и практический интерес представляет подбор составов полимерных композиций с наполнением оксидами других металлов, чтобы при повышении физико-механических свойств сохранялись и высокие диэлектрические характеристики.

Целью данной работы является разработка полиорганосилоксановой композиции с использованием оксидов алюминия и галлия для получения электроизоляционных покрытий с высокими эксплуатационными и технологическими показателями.

Материалы и методы исследования

Основой разрабатываемой полимерной композиции являлся низкомолекулярный диметилсилоксановый каучук СКТН-А по ГОСТ 13835-73. Данное полиорганосилоксановое связующее представляет собой раствор диметилсилоксановой смолы с концентрацией 48–52% в ароматическом растворителе, стабилизировано активной окисью кремния и отверждается катализаторами холодного отверждения. СКТН-А отличается условной вязкостью 90–150 с, потерями массы не более 2%, термостабильностью не более 2%. Материалы и покрытия, полученные при помощи данного связующего, могут эксплуатироваться при температурах от -60 до +250 °С.

В качестве отвердителя холодного отверждения для выбранного полиорганосилоксанового связующего применялся катализатор К-18 по ТУ 6-02-805-75, который представляет собой раствор диэтилдикаприлата олова в этилсиликате при соотношении 1:4 соответственно. В качестве модифицирующих наполнителей применяли активный оксид алюминия Al_2O_3 марки АОА-2 по ГОСТ 8136-85 для повышения диэлектрических характеристик и оксид галлия Ga_2O_3 по ТУ 6-09-3729-80 для повышения физико-механических и электрофизических показателей.

Полимерную композицию получали путем первоначального перемешивания диметилсилоксанового каучука с оксидами алюминия и галлия в определенных данным экспериментом пропорциях в течение 25–30 мин. Затем к полученной смеси добавлялось заданное проводимым исследованием количество катализатора К-18 для перемешивания в течение 10 мин. Обе стадии перемешивания проводились без нагревания. Полученная композиция методом полива через фильеру наносилась на предварительно обезжиренные подложки из стали и алюминия. Отверждение композиции с получением покрытия проводилось в течение 72 ч при температуре 20–25 °С.

Адгезия полученных электроизоляционных покрытий к стальной и алюминиевой подложкам определялась при помощи адгезиометра ПСО-МГ4 по ГОСТ 28574-90 методом отрыва стального цилиндра диаметром 20 мм, приклеенного к нанесенному и отвержденному покрытию.

Для определения электрической проводимости полученных покрытий использовалась измерительная ячейка, состоящая из подвижного и неподвижного электродов, изготовленных из нержавеющей стали, а также прижимного устройства. Измерения

проводились на образцах в виде дисков диаметром 100 мм и толщиной 2 мм, поверхности которых перед контактом с электродами смазывали электропроводящей пастой. Величина электрической проводимости измерялась тераомметром UNI-T в соответствии со стандартной методикой по ГОСТ 20214-74.

Диэлектрическая проницаемость определялась волновым методом на измерительном комплексе, состоящем из прецизионной измерительной линии P1-20, перестраиваемого генератора M31102-1 на диоде Ганна (8–11 ГГц), ферритового вентиля и отрезка волновода стандартного сечения 10x23 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе работы были исследованы характеристики покрытий, полученные на основе составов полимерных композиций, приведенных в табл. 1.

Стоит отметить, что при количествах оксида алюминия свыше 30 мас. ч. происходил избыточный рост вязкости композиции, что затрудняло получение гомогенной смеси при перемешивании и являлось причиной нестабильности и анизотропии свойств получаемых покрытий [14]. В то же время введение менее 10 мас. ч. оксида алюминия не позволяло получить достаточно высокие диэлектрические показатели получаемых

покрытий. Добавка менее 5 мас. ч. оксида галлия практически не влияла на свойства получаемых покрытий, а введение 20 мас.ч. и выше практически не изменяло свойства покрытий по сравнению с образцами, полученными при 15 мас. ч. данного компонента смеси.

Физико-технические характеристики образцов покрытий, полученные в результате проведения исследований, представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что введение используемых в данной работе наполнителей повышает диэлектрические характеристики получаемых покрытий, а введение оксида галлия дополнительно способствует повышению адгезии получаемого покрытия к подложкам из стали и алюминия.

Из полученных результатов также можно сделать вывод о том, что оксид галлия не только повышает объемное электрическое сопротивление, являясь широкозонным полупроводниковым покрытием, но и образует на поверхности покрытия прочную защитную пленку, способствуя защите покрытия и, как следствие, поверхности, на которую это покрытие наносится, от механических воздействий. В свою очередь оксид алюминия, кроме того, что повышает электроизоляционные свойства покрытия, являясь диэлектриком, также способствует улучшению стабильности диэлектрических характеристик.

Таблица 1

Составы композиций для получения образцов покрытий

№ состава	Содержание компонентов, мас. ч.			
	СКТН-А	К-18	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃
1	100	6	10	15
2	100	6	30	10
3	100	6	20	5

Таблица 2

Физико-технические характеристики образцов разработанных покрытий

№ образца	Адгезия по методу отрыва R, МПа		Удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v \cdot 10^{11}$, Ом·мм	Диэлектрическая проницаемость, ϵ
	Стальная подложка	Алюминиевая подложка		
1	0,88	0,62	$1,2 \cdot 10^{11}$	4,0
2	0,53	0,44	$1,4 \cdot 10^{11}$	3,87
3	0,24	0,21	$1,0 \cdot 10^{11}$	3,80

Сравнительная оценка свойств разработанного и известного электроизоляционных покрытий

Свойство	Известное покрытие	Разработанное покрытие
Адгезия по методу отрыва, МПа: – стальная подложка; – алюминиевая подложка	0,14–0,26 –	0,24–0,88 0,21–0,62
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·мм	$1,0 \cdot 10^{10} - 1,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{11} - 1,4 \cdot 10^{11}$
Диэлектрическая проницаемость	3–4	3,8–4,0

Для дополнительной оценки свойств покрытий, получаемых с использованием исследуемой полимерной композиции, было проведено сравнение их наиболее важных показателей с известным и близким по составу электроизоляционным покрытием, получаемым на основе 15–60 мас. % полиметилфенилсилоксана в роли полиорганосилоксановой основы, 5–20 мас. % оксида металла, в частности хрома, кобальта, меди, титана или цинка, в роли наполнителя, 10–30 мас. % толуола или о-ксилола в роли растворителя и 25–50 мас. % тетраметилсилана или смеси пропан-бутан в роли азеотропного вытеснителя [15]. Сравнение представлено в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что разработанное защитное электроизоляционное покрытие сходно с известным покрытием по диэлектрическим показателям и существенно превосходит его по адгезии к стальным поверхностям, что предполагает повышенные эффективность и долговечность при его применении для электроизоляции.

Заключение

По итогам проведенных в данной работе экспериментальных исследований был разработан состав, включающий диметилсилоксановый каучук в роли полимерной основы и пленкообразующего компонента, оксиды алюминия и галлия в качестве комплексного наполнителя для улучшения характеристик покрытия и катализатор К-18 для холодного отверждения покрытия.

Результаты выполненной работы подтверждают, что применяемые наполнители повышают диэлектрические характеристики получаемого покрытия. При этом оксид галлия дополнительно повышает адгезию к стальным и алюминиевым поверхностям и образует прочную пленку на поверхности покрытия, а оксид алюминия также способствует стабильности диэлектрических характеристик.

По итогам проведенных экспериментов выявлено, что для получения полимерных

покрытий с высокими электроизоляционными показателями и повышенной адгезией к стальным и алюминиевым поверхностям на 100 мас. ч. диметилсилоксанового каучука и 6 мас. ч. катализатора К-18 возможно введение 10–30 мас.ч. оксида алюминия и 5–15 мас.ч. оксида галлия в качестве дисперсных наполнителей и модифицирующих добавок.

При сравнительной оценке образцов получаемых в данной работе покрытий с образцами известного и близкого по составу электроизоляционного покрытия на полимерной основе выявлено, что разработанная полимерная композиция позволяет получить материал, сходный с известным по диэлектрическим показателям и существенно превосходящий его по адгезии к стальным поверхностям.

Таким образом, рассмотренная в данной работе полимерная композиция может применяться для нанесения электроизоляционных покрытий на стальные и алюминиевые поверхности электронных, радио- и электротехнических приборов, устройств, оборудования и их отдельных элементы.

Список литературы

1. Соколов А.Г. Инженерия поверхности и технологии повышения эксплуатационных свойств изделий из металлических сплавов: учебное пособие. М. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 304 с.
2. Федоревская А.А. Современные материалы для кровельных покрытий // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2015. Т. 2. № 20. С. 57–63.
3. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 22–26.
4. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия: учеб. пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. 200 с.
5. Шатров А.С. Защитные оксидно-керамические покрытия, формируемые на алюминиевых сплавах методом плазменного электролитического оксидирования // Коррозия: материалы, защита. 2012. № 4. С. 28–37.
6. Маркова А.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Чухланов В.Ю., Подолов А.А. Комплексная утилизация отходов Владимирской области в производстве высокопрочной стро-

- ительной керамики из местной малопластичной глины // Экология промышленного производства. 2016. № 3 (95). С. 14–17.
7. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол // Научное обозрение. Технические науки. 2017. № 2. С. 96–114.
8. Чухланов В.Ю., Усачева Ю.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А. Новые лакокрасочные материалы на основе модифицированных пипериленистирольных связующих с использованием гальваношлама в качестве наполнителя // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 12. С. 52–55.
9. Liu T., Ma L., Wang X., Wang J., Qian H., Zhang D., Li X. Self-healing corrosion protective coatings based on micro/nanocarriers: A review // Corrosion Communications. 2021. Vol. 1. P. 18–25.
10. Eduok U., Faye O., Szpunar J. Recent developments and applications of protective silicone coatings: A review of PDMS functional materials // Progress in Organic Coatings. 2017. Vol. 111. P. 124–163.
11. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.
12. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана // Пластические массы. 2013. № 9. С. 8–10.
13. Мушенко Р.С. Основные принципы формирования композиционных силиконовых материалов [Электронный ресурс]. URL: https://tkfm.org/principi_formirovania (дата обращения: 15.02.2022).
14. Павлычева Е.А. Разработка полимерной композиции для получения материалов и изделий с улучшенными диэлектрическими характеристиками // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 12. С. 60–64.
15. Журавский М.М., Макаров А.Ф. Кремнийорганическая композиция для электроизоляционного и антикоррозионного покрытия холодного отверждения и способ изготовления этой композиции в аэрозольном исполнении. Патент РФ № 2391364. Опубл. 10.06.2010. Бюл. № 16.

УДК 62:630*3

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЛЕСНЫХ МАШИН

²Тимохова О.М., ¹Кручинин И.Н., ²Тимохов Р.С.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург;

²ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,

e-mail: chonochka@mail.ru

Механизм лесных машин является системой твердых тел, и поэтому механизмы имеют как весьма простое, так и достаточно сложное и разнообразное строение (структуру). Строением механизма определяются такие его важнейшие характеристики, как виды осуществляемых движений, способы их преобразования, число степеней свободы. Наложение связей сопровождается формированием механизма, то есть позволяет соединить отдельные его части в единую систему. При проектировании нужно из множества разнообразных механизмов выбрать самый подходящий и правильно подобрать его основные структурные элементы. В статье рассмотрен процесс расчета надежности функционирования механических систем несколькими способами. В данном случае в процессе расчета надежности в качестве параметров функционирования, наиболее полно характеризующих процесс перемещения, следует рассматривать функции работы действующих сил по пути перемещения. Проанализированные методы позволяют достаточно просто и принципиально точно оценить надежность функционирования однозвенных пружинно-шарнирных механизмов, замков и толкателей лесных машин. Данный подход позволяет на этапе проектирования определить энергетические параметры привода, обеспечивающие требуемый уровень надежности функционирования систем лесных машин, и тем самым сократить объем конструкторско-доводочных испытаний и затрат на разработку.

Ключевые слова: механизм, твердое тело, надежность, звено, механическая система, аналитический метод, статистический метод

METHODS FOR DETERMINING THE RELIABILITY OF FUNCTIONING OF SOME MECHANICAL SYSTEMS FOR FOREST MACHINES

²Timokhova O.M., ¹Kruchinin I.N., ²Timokhov R.S.

¹Ural State Forestry University, Yekaterinburg;

²Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: chonochka@mail.ru

The mechanism of forest machines is a system of solid bodies and therefore the mechanisms have both a very simple and a rather complex and diverse structure (structure). The structure of the mechanism determines its most important characteristics, such as the types of movements carried out, the methods of their transformation, the number of degrees of freedom. The imposition of links accompanies the formation of the mechanism, that is, it allows you to connect its individual parts into a single system. When designing, it is necessary to choose the most suitable from a variety of different mechanisms and correctly select its main structural elements. The article considers the process of calculating the reliability of the functioning of mechanical systems in several ways. In this case, in the process of calculating reliability, as the parameters of functioning that most fully characterize the process of movement, one should consider the functions of the work of the acting forces along the path of movement. The analyzed methods make it possible to fairly simply and fundamentally accurately assess the reliability of the functioning of single-link spring-hinged mechanisms, locks and pushers of forest machines. This approach allows at the design stage to determine the energy parameters of the drive that provide the required level of reliability of the forest machine systems and thereby reduce the amount of design and development tests and development costs.

Keywords: mechanism, solid, reliability, link, mechanical system, analytical method, statistical method

Любой современный механизм состоит из твердых тел, объединенных в одну общую систему. Главное назначение данной системы – преобразовывать движение одного или нескольких твердых тел в необходимые движения других твердых тел. Строение (структура) механизмов может иметь как простое, так и довольно сложное исполнение. В прямой зависимости от строения (структуры) механизма находятся выполняемые им движения, варианты преобразования этих движений, а также количество степеней свободы. Наложение связей – неотъемлемая часть соединения отдельных звеньев в механизм. От правильного выбора и распределения этих связей зависят надежность и ра-

ботоспособность механизма. В связи с этим фактом очень важно знать основные виды и структуру (закономерности их строения) современных механизмов [1, 2].

Цель исследования – на этапе проектирования определить энергетические параметры привода, обеспечивающие требуемый уровень надежности функционирования систем лесных машин, и тем самым сократить объем конструкторско-доводочных испытаний и затраты на разработку.

Материалы и методы исследования

Наложение связей сопровождается формированием механизма, то есть позволяет соединить отдельные его части в единую

систему. Надежная эксплуатация в значительной степени определяется правильным их распределением в строении механизма. Для этого при проектировании нужно из множества разнообразных механизмов выбрать самый подходящий и правильно подобрать его основные структурные элементы [3, 4].

Изменение взаимного положения в пространстве материальных тел или положение частей данного тела определяется строением механизма. Звенья в механизме соединяются с помощью кинематических пар разного вида в зависимости от числа связей, накладываемых на относительное движение звеньев. Эти варианты анализируются на основе структурной схемы механизма, которая может быть представлена назначением.

Результат срабатывания многих механических систем – перемещение подвижной части из некоторого начального положения в конечное, определяемое конструктивной схемой. Очевидно, достижение подвижной частью заданного конечного положения может служить критерием безотказности функционирования такой системы [5, 6]. В этом случае надежность системы может быть оценена вероятностью выполнения условий срабатывания:

$$H_{\phi} = P\{x = x_k\}.$$

Проведение расчетов по данному соотношению возможно методом статистических испытаний (метод Монте-Карло) с использованием известных формул математической статистики [7]. Однако применение этого метода для подтверждения вероятности безотказной работы высоконадежных систем требует расчета большого количества реализаций процесса перемещения. Более глубокую информацию о вероятностных свойствах системы можно получить из исследования модели процесса функционирования и выработки соответствующих условий безотказности [8, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

Функционирование системы (процесс перемещения ее подвижной части) характеризуется соотношением движущих сил $F_{\text{дв}}(x)$, развиваемых соответствующим приводом, и сил сопротивления движению $F_c(x)$, наличие которых обусловлено конструктивной схемой. При этом часть энергии привода идет на преодоление сил сопротивления на участке перемещения, а ее избыток переходит в кинетическую энергию подвижных частей.

Очевидно, для того чтобы происходил процесс перемещения, достаточно выпол-

нения неравенства $F_{\text{дв}}(x) > F_c(x)$ на всем участке перемещения $[0, x_k]$. Вероятность выполнения этого неравенства может служить оценкой надежности функционирования системы [10]:

$$H_{\phi} = P\{F_{\text{дв}}(x) > F_c(x); 0 \leq x \leq x_k\},$$

где $F_{\text{дв}}(x), F_c(x)$ – случайные функции своего аргумента (в общем случае).

Однако оценка надежности по последней формуле получается заниженной, так как при этом не учитывается возможность перемещения подвижных частей за счет накопленной кинетической энергии даже в случае превышения сил сопротивления над силами привода. По-видимому, при расчете надежности в качестве параметров функционирования, наиболее полно характеризующих процесс перемещения, следует рассматривать функции работы действующих сил по пути перемещения. При этом надежность определяется как вероятность того, что работа движущих сил системы $A_{\text{дв}}(x)$ превысит работу сил сопротивления $A_c(x)$ на всем пути перемещения, т.е.

$$H_{\phi} = P\{A_{\text{дв}}(x) > A_c(x); 0 \leq x \leq x_k\},$$

где

$$A_{\text{дв}}(x) = \int_0^x F_{\text{дв}}(\xi) d\xi;$$

$$A_c(x) = \int_0^x F_c(\xi) d\xi.$$

Для расчета надежности функционирования механических систем можно использовать два метода.

Аналитический метод. Для решения поставленной задачи преобразуем выражение

$$H_{\phi} = P\{A(x) > 0; 0 \leq x \leq x_k\}, \quad (1)$$

где

$$A(x) = \int_0^x F_{\Sigma}(\xi) d\xi; \quad F_{\Sigma}(\xi) = F_{\text{дв}}(\xi) - F_c(\xi).$$

Таким образом, мы пришли к задаче о нахождении вероятности превышения нулевого уровня случайным процессом $A(x)$ на пути $[0, x_k]$. В общем случае эта задача решена в [10]. Согласно этой работе для H_{ϕ} можно записать следующую оценку снизу:

$$H_{\phi} \geq H_0 \left[1 - \int_0^{x_k} v(x) dx \right],$$

где H_0 – вероятность безотказной работы системы в начальный момент движения;

$v(x)$ – математическое ожидание числа пересечений нулевого уровня в единицу времени.

Выражения для H_0 и $v(x)$ в общем случае можно записать следующим образом:

$$H_0 = P\{F_\Sigma(0) > 0\}; \quad (2)$$

$$v(x) = \int_0^\infty A'(x) f[0, A'(x)] d[A'(x)], \quad (3)$$

где $A'(x) = F_\Sigma(x)$ – производная функция работы $A(x)$;

$f(0, A'(x))$ – совместная плотность распределения $A(x)$ и $A'(x)$ в точке $A(x) = 0$.

Как правило, на практике известны вероятностные характеристики процесса $F_\Sigma(x)$: математическое ожидание $m_F(x)$ и корреляционная функция $k_F(x_1, x_2)$. Тогда, согласно [10], соответствующие характеристики для $A(x)$ могут быть определены из выражений

$$m_A(x) = \int_0^x m_F(\xi) d\xi; \quad (4)$$

$$k_A(x_1, x_2) = \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} k_{F_\Sigma}(\xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2, \quad (5)$$

а их взаимная корреляционная функция

$$k_{AF}(x_1, x_2) = \frac{\partial}{\partial x_2} k_A(x_1, x_2). \quad (6)$$

В частном случае, когда процесс $F_\Sigma(x)$ стационарен, вместо (5, 6) будем иметь

$$k_A(x_1, x_2) = \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} k_{F_\Sigma}(\xi_2 - \xi_1) d\xi_1 d\xi_2; \quad (7)$$

$$k_{AF}(x_1, x_2) = \int_0^{x_2} k_{F_\Sigma}(\xi) d\xi - \int_0^{x_2 - x_1} k_{F_\Sigma}(\xi) d\xi. \quad (8)$$

Полагая в последнем равенстве $x = x_1 = x_2$, получим выражения для дисперсии

$$D_A^2(x) = 2 \int_0^x (x - \xi) k_{F_\Sigma}(\xi) d\xi \quad (9)$$

и взаимного корреляционного момента

$$k_{AF}(x) = \int_0^x k_{F_\Sigma}(\xi) d\xi. \quad (10)$$

По соотношениям (2)–(10) фактически можно решать задачу определения надежности функционирования широкого класса механических систем.

Характер изменения функции $v(x)$, полученный для нормального стационарного процесса с характеристиками $k_{F_\Sigma}(x) = e^{-|x|}$, $m_{F_\Sigma}(x) = 5e^{-x}$, $0 \leq x \leq 1$, представлен на рис. 1. Проведенные исследования пока-

зали, что в окрестности нуля $v(x)$ ведет себя как функция $x^{-1/2}$, чем объясняется резкое убывание $v(x)$ в начале координат. Возрастание $v(x)$ при $x > 0,1$ связано с уменьшением избыточности по силе при перемещении подвижной части системы.

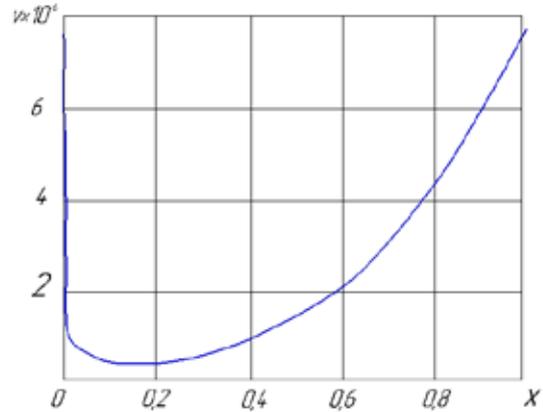


Рис. 1. Изменение функции $v(x)$ при нормальном стационарном процессе

Метод статистического моделирования минимума параметрической функции. Для расчета надежности вторым способом преобразуем выражение (1) к виду

$$H_\phi = P \left\{ \frac{A_{\text{дог}}(x)}{A_c(x)} > 1; 0 \leq x \leq x_k \right\} = P \{ \eta(x) > 1; 0 \leq x \leq x_k \}, \quad (11)$$

где $\eta(x) = A_{\text{дог}}(x) / A_c(x)$ – коэффициент энергетического запаса системы. Для $\eta(x)$ в точке $x = 0$ получаем

$$\eta(0) = \lim_{x \rightarrow 0} \eta(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F_{\text{дог}}(x)x}{F_c(x)x} = \frac{F_{\text{дог}}(0)}{F_c(0)}.$$

Таким образом, функция может быть определена на всем участке перемещения $[0; x_k]$.

Событие, состоящее в том, что минимум процесса $\min_x \eta(x)$ на интервале $[0; x_k]$ больше уровня $a = 1$ (рис. 2) эквивалентно событию, заключающемуся в том, что на участке $0 \leq x \leq x_k$ процесс $\eta(x)$ не выйдет за уровень a . Следовательно, соотношение (II) эквивалентно выражению

$$H_\phi = P \{ \eta(x) > 1; 0 \leq x \leq x_k \} = P \left\{ \min_{0 \leq x \leq x_k} \eta(x) > 1 \right\} = \int_1^\infty f_{\min \eta}(y) dy, \quad (12)$$

где $f_{\min \eta}(y)$ – функция плотности распределения случайной величины $\min_x \eta$ [5].

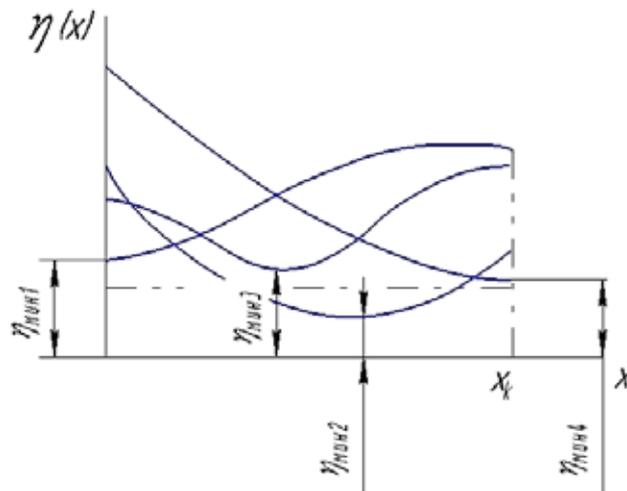


Рис. 2. Зависимость реализации процесса $\eta(x)$ по пути перемещения x

Плотность распределения $f_{\min \eta}(y)$ определяется по выборке значений случайной величины $\min_x \eta$. При этом для каждой реализации возмущающих воздействий $F_{\text{дв}}(x)$ и $F_c(x)$ находятся реализации процесса $\eta(x)$ по пути перемещения x и выбираются соответствующие им значения $\eta_{\min} = \min_x \eta(x)$.

На практике часто встречается случай, когда $F_{\text{дв}}(x)$ является монотонно убывающей случайной функцией x , а $F_c(x)$ – случайной функцией, не зависящей от x . В этом случае надежность функционирования может быть оценена по формуле

$$H_\phi = P \left\{ \frac{A_{\text{дв}}(x)}{A_c(x)} > 1 \right\}, \quad (13)$$

где

$$A_{\text{дв}}(x_k) = \int_0^{x_k} F_{\text{дв}}(\xi) d\xi;$$

$$A_c(x_k) = \int_0^{x_k} F_c(\xi) d\xi;$$

$F_{\text{дв}}(x) = \varphi(x, b, c, \dots)$, $F_c = d$; b, c, \dots, d – случайные величины, не зависящие от x .

Справедливость выражения (13) подтверждается исследованиями функции $\eta(x)$, которая при принятых условиях является убывающей функцией своего аргумента, достигающей минимума при $x = x_k$. Таким образом, учитывая соотношение (12), получаем

$$H_\phi = P \left\{ \min_x \eta(x) > 1 \right\} = P \left\{ \frac{A_{\text{дв}}(x_k)}{A_c(x_k)} > 1 \right\}.$$

Для практических расчетов это выражение целесообразно представить в виде

$$H_\phi = P \{ A_{\text{дв}}(x_k) - A_c(x_k) > 0 \} = P \{ A(x_k) > 0 \},$$

где

$$A(x_k) = A_{\text{дв}}(x_k) - A_c(x_k).$$

При нормальном законе распределения случайных величин $A_{\text{дв}}(x_k)$, $A_c(x_k)$

$$H_\phi = F^* \left\{ \frac{m_A}{D_A} \right\},$$

где $F^* \left\{ \frac{m_A}{D_A} \right\}$ – функция нормированного распределения [6];

$$m_A = m_{A_{\text{дв}}} - m_{A_c};$$

$$D_A = \sqrt{D_{A_{\text{дв}}}^2 + D_{A_c}^2 + 2k_{A_{\text{дв}}A_c}};$$

где $m_{A_{\text{дв}}}$, m_{A_c} , $D_{A_{\text{дв}}}$, D_{A_c} , $k_{A_{\text{дв}}A_c}$ – соответственно математические ожидания, средние квадратические отклонения и взаимный корреляционный момент случайных величин $A_{\text{дв}}(x_k)$, $A_c(x_k)$.

Нетрудно убедиться, что если $F_{\text{дв}}(x)$ – монотонно возрастающая случайная функция, то надежность можно оценить по формуле

$$H_\phi = P \{ A_{\text{дв}}(0) - A_c(0) > 0 \}$$

Заключение

Рассмотренные методы позволяют достаточно просто и принципиально точно оценить надежность функционирования однозвенных пружинно-шарнирных механизмов, замков и толкателей. При этом возмож-

но уже на этапе проектирования определить энергетические параметры привода, обеспечивающие требуемый уровень надежности функционирования системы и тем самым сократить объем конструкторско-доводочных испытаний и затрат на разработку.

Список литературы

1. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2017. 18 с.
2. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Стандартинформ, 2002. 29 с.
3. Анцупов В.П., Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.). Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям // Надежность. 2013. № 3 (46). С. 5–14.
4. Kopp V.Ya. Modeling of automated production systems. Sevastopol: SevNTU, 2012.
5. Shukhanov S.N., Kuzmin A.V., Boloyev P.A. Reliability of Machine-Tractor Aggregates Operation // *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy: Engineering Technologies and Systems*. 2020. 30 (1). P. 8–20.
6. Gerasimov Yu.Yu. Sokolov A.P., Syuney V.S. Development Trends and Future Prospects of Cut-to-length Machinery. *Advanced Materials Research*. 2013. Is. 705. P. 468–473.
7. Посметьев В.И., Кадырметов А.М., Никонов В.О. Расчет надежности при конструировании машин и оборудования лесного комплекса: учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. 72 с.
8. Заикин А.Н. Определение надежности лесозаготовительных систем // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2008. № 21–2. С. 16–19.
9. Шиловский В.Н., Питухин А.В., Кяльвийянен В.А., Костюкевич В.М. Сравнительная оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2014. 104 с.
10. Лой В.Н., Пищов С.Н. Обеспечение надежности машин и оборудования: учебно-методическое пособие. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2012. 70 с.

СТАТЬИ

УДК 681:004

**УТОЧНЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА
ПРИ СИНТЕЗЕ ГОЛОГРАММ МЕТОДОМ ЛОМАНА**

**Тультемирова Г.У., Шаршеева К.Т., Аккозов А.Д.,
Алымкулов С.А., Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М.**

*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек,
e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

Статья посвящена исследованию метода Ломана, предназначенного для синтеза цифровых голограмм. Рассматривается его улучшенный вариант, известный как метод действительной (верной) фазы. Показано, что уточнение фазового сдвига посредством интерполяции фазового спектра голографируемого объекта кубическим полиномом имеет некоторые недостатки. Это связано с тем, что при расчете на компьютере мы располагаем главными значениями аргументов отсчетов фазового спектра, приведенных к интервалу с длиной 2π . Предлагается альтернативный алгоритм уточнения фазового сдвига, основанный на аппроксимации фазы Фурье-образа кусочно-линейной функцией, построенной по отсчетам, взятым дополнительно внутри интервалов между основными точками отсчетов. Показано, что наиболее эффективным способом решения поставленной задачи является компьютерное моделирование процессов синтеза и восстановления цифровых голограмм. Для этого были разработаны: алгоритм расчета голограммы Ломана с использованием простых кодирующих соотношений; эффективный алгоритм уточнения фазового сдвига, такой, что построенная на его основе компьютерная программа требует меньше оперативной памяти и объема вычислений; компьютерная модель процессов синтеза и восстановления голограмм, как простым методом Ломана, так и методом действительной фазы. На этой модели и было проведено исследование.

Ключевые слова: метод Ломана, Фурье-образ, кусочно-линейная функция, точки отсчета, фазовый сдвиг, компьютерное моделирование

**REFINEMENT OF THE PHASE SHIFT
IN THE SYNTHESIS OF HOLOGRAMS BY THE LOMAN METHOD**

**Tultemirova G.U., Sharsheeva K.T., Akkozov A.D.,
Alymkulov S.A., Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M.**

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, e-mail: i_yusupjan@mail.ru

This article is devoted to the study of the Loman method for the synthesis of digital holograms. An improved version of it, known as the real (true) phase method, is considered. It is shown that the refinement of the phase shift by interpolating the phase spectrum of the holographed object by a cubic polynomial has some disadvantages. This is due to the fact that when calculating on a computer, we have the main values of the arguments of the phase spectrum readings, reduced to an interval with length 2π . An alternative algorithm for phase shift refinement is proposed, based on the approximation of the phase of the Fourier image by a piecewise linear function, constructed from samples taken, additionally, within the intervals between the main sample points. It was shown that the most effective way to solve the problem was computer simulation of the processes of synthesis and restoration of digital holograms. For this, the following steps were developed: 1. An algorithm for calculating the Loman hologram using simple coding relations; 2. An efficient algorithm for phase shift refinement, such that a computer program built on its basis requires as little RAM and amount of calculations as possible; 3. On the base of the results of the two previous paragraphs, a computer model of the processes of synthesis and restoration of holograms, both by the simple Loman method and by the real phase method. Study was conducted by this model.

Keywords: Loman method, Fourier transform, piecewise linear function, reference points, phase shift, computer simulation

Простое приближенное соотношение Ломана для кодирования фазы и его недостатки

Исторически одним из первых и уже классическим методом синтеза цифровых голограмм является оригинальный метод, разработанный Ломаном и его сотрудниками [1–3].

Сущность метода Ломана заключается в следующем. Пусть голографируемый двумерный объект описывается финитной функцией $u(x, y)$ с областью, не выходящей за пределы прямоугольника $|x| \leq \frac{a_I}{2}$, $|y| \leq \frac{b_I}{2}$, где

a_I и b_I – пространственные размеры объекта. В плоскости синтезируемой голограммы вводятся пространственно-частотные координаты ξ и η , которые с ее пространственными координатами x_H , y_H связаны соотношениями

$$\xi = \frac{x_H}{\lambda f}, \quad \eta = \frac{y_H}{\lambda f},$$

где λ – длина световой волны лазерного излучения, используемого при восстановлении голограммы; f – фокусное расстояние используемой при этом Фурье-преобразующей

линзы. Затем с помощью компьютера вычисляются значения отсчетов Фурье-образа

$$U(\xi, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(x, y) \exp[-i2\pi(\xi x + \eta y)] dx dy$$

голографируемого объекта $u(x, y)$ в узлах регулярной сеточной области, покрывающей ограниченную область $|\xi| \leq \frac{a_H}{2\lambda f}$, $|\eta| \leq \frac{a_H}{2\lambda f}$ плоскости голограммы $\xi\eta$, где

a_H и b_H – пространственные размеры голограммы. Шаги сеточной области $\Delta\xi$ и $\Delta\eta$ выбираются в соответствии с требованиями теоремы отсчетов, т.е. $\Delta\xi \leq \frac{1}{a_1}$, $\Delta\eta \leq \frac{1}{b_1}$.

Число точек отсчета вдоль осей ξ и η равно n и m соответственно.

Затем каждый отсчет $U_{nm} = U(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$, выбранный в узле $(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$, с помощью устройств отображения компьютера кодируется в виде прозрачной прямоугольной апертуры на непрозрачном фоне. При этом $c\Delta\xi$ – ширина апертуры (в пространственных частотах) постоянна для данной голограммы, высота же $W_{nm}\Delta\eta$ с некоторым приближением прямо пропорциональна значению амплитуды $A_{nm} = |U_{nm}| = U(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$. Смещение апертуры $P_{nm}\Delta\xi$ в направлении одной из пространственно-частотных осей (скажем, в направлении оси ξ) относительно точки отсчета $(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$ пропорциональна фазе $\varphi_{nm} = \arg U_{nm}$.

А именно

$$\left. \begin{array}{l} a) \quad W_{nm} = \text{const} A_{nm}, \\ б) \quad P_{nm} = \frac{\varphi_{nm}}{2\pi}. \end{array} \right\} (1)$$

Каждая такая апертура располагается в пределах прямоугольника со сторонами $\Delta\xi$ и $\Delta\eta$ и геометрическим центром в узле сеточной области (рис. 1). Этот прямоугольник с апертурой называют элементарной ячейкой голограммы.

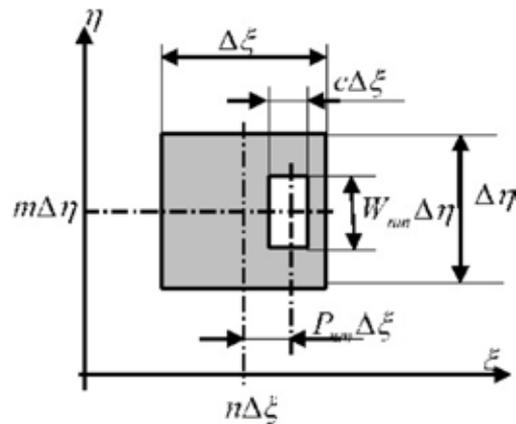


Рис. 1. Элементарная ячейка голограммы

Таким образом, синтезированная по методу Ломана голограмма представляет собой матрицу таких элементарных ячеек.

Функция пропускания голограммы, синтезированной изложенным выше способом, является бинарной и имеет вид

$$T(\xi, \eta) = \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M \text{rect} \left[\frac{\xi - (n + P_{nm})\Delta\xi}{c\Delta\xi} \right] \text{rect} \left[\frac{\eta - m\Delta\eta}{W_{nm}\Delta\eta} \right], \quad (2)$$

где $\text{rect}(x)$ – прямоугольная функция, определяемая как

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } |x| \leq \frac{1}{2}, \\ 0 & \text{при } |x| \geq \frac{1}{2}, \end{cases} \quad N = \frac{N_H - 1}{2}; \quad M = \frac{M_H - 1}{2}; \quad N_H = \frac{a_H / \lambda f}{\Delta\xi}; \quad M_H = \frac{b_H / \lambda f}{\Delta\eta};$$

$N_H \times M_H$ – объем выборки.

Для восстановления изображения эта голограмма помещается в плоскости P_2 в оптической системе, приведенной на рис. 2, и освещается восстанавливающей плоской внеосевой световой волной $R(\xi, \eta)$, которая может быть образована, в частности, точечным источником света (с амплитудой $A = 1$), расположенным в точке $(x_0, 0)$ плоскости P_1 . Тогда восстанавливающая световая волна в плоскости P_2 имеет следующее распределение комплексной амплитуды [4–6]

$$R(\xi, \eta) = \exp(i2\pi x_0 \xi), \quad (3)$$

При этом в плоскости P_3 восстановим изображение, описываемое выражением

$$h(x, y) \sim c\Delta\xi\Delta\eta \operatorname{sinc}[c\Delta\xi(x+x_0)] \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M W_{nm} \operatorname{sinc}(W_{nm}\Delta\eta) \exp(i2\pi P_{nm}\Delta\xi x) \times \\ \times \exp[(n+Pnm)\Delta\xi x_0] \exp[i2\pi(n\Delta\xi x + m\Delta\eta y)], \quad (4)$$

где $\operatorname{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$.

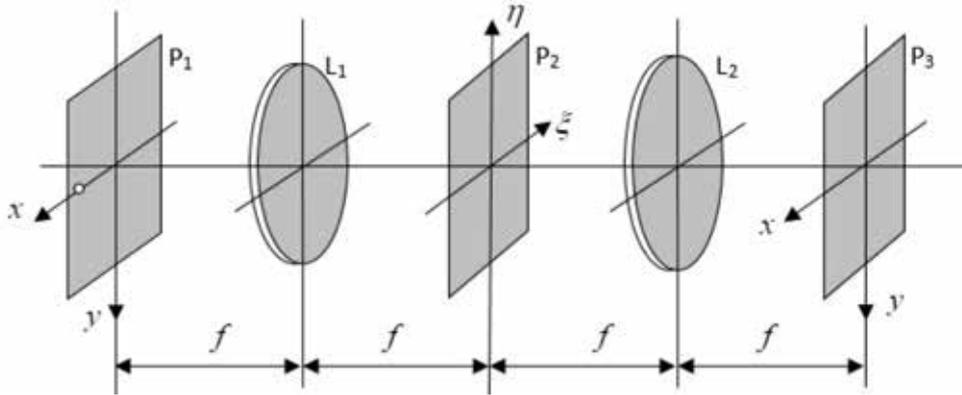


Рис. 2. Оптическая система восстановления изображения с голограммы Ломана

Дискретность и бинарность структуры голограммы является причинами появления дифракционных порядков. Если восстанавливающая световая волна R наклонена к плоскости P_1 так, чтобы ее фазовый набег на $\Delta\xi$ составлял величину, кратную 2π (это имеет место

при $x_0 = \frac{1}{\Delta\xi}$), то $R(\xi, \eta) = \exp\left(i \frac{2\pi}{\Delta\xi} \xi\right)$ и восстановленное изображение исходного объ-

екта будет наблюдаться в области $|x| \leq \frac{a_l}{2}$, $|y| \leq \frac{b_l}{2}$. Поэтому наибольший интерес представляет лишь та часть восстановленного изображения, которая ограничена этой областью. Она описывается функцией

$$\tilde{h}(x, y) = \operatorname{rect}(\Delta\xi x) \operatorname{rect}(\Delta\eta y) h(x, y). \quad (5)$$

Соответствующая пространственно-ограниченная дискретная идеальная голограмма в указанной выше области восстанавливает изображение, которое запишется в виде

$$\tilde{u}(x, y) = \Delta\xi\Delta\eta \operatorname{rect}(\Delta\xi x) \operatorname{rect}(\Delta\eta y) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} U(n\Delta\xi, m\Delta\eta) \exp[i2\pi(n\Delta\xi x + m\Delta\eta y)]. \quad (6)$$

Синтезируемая голограмма будет обладать необходимыми свойствами, если (5) и (6) будут совпадать с точностью до постоянного множителя:

$$\operatorname{const} \tilde{u}(x, y) = \tilde{h}(x, y). \quad (7)$$

Очевидно, что в общем случае для произвольного вида $\tilde{u}(x, y)$ никаким выбором параметров P_{nm} и P_{nm} не удастся добиться тождественного совпадения изображений в требуемой области. Поэтому Ломан и Парис заключили, что если в интересующей нас области $|x| \leq \frac{a_l}{2}$, $|y| \leq \frac{b_l}{2}$, множители $\operatorname{sinc}[c\Delta\xi(x+x_0)]$, $\operatorname{sinc}(W_{nm}\Delta\eta y)$ и $\exp(i2\pi P_{nm}\Delta\xi x)$ в (4) изменяются незначительно, то, аппроксимируя их константами

$$\left. \begin{aligned} a) \quad & \operatorname{sinc}[c\Delta\xi(x+x_0)] \approx \operatorname{sinc}(c\Delta\xi x_0) = \operatorname{const}_2, \\ б) \quad & \operatorname{sinc}(W_{nm}\Delta\eta y) \approx 1, \\ в) \quad & \exp(i2\pi P_{nm}\Delta\xi x) \approx 1, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

можем потребовать выполнения условия (7) в виде

$$\begin{aligned} \text{rect}(\Delta\xi x)\text{rect}(\Delta\eta y) \sum_{n,m=-\infty}^{\infty} \{ \text{const}_1 U(\Delta\xi n, \Delta\eta m) - \text{const}_2 W_{nm} \exp[i2\pi(n + P_{nm})] \} \times \\ \times \exp[i2\pi(n\Delta\xi x + m\Delta\eta y)] = 0. \quad (9) \end{aligned}$$

Если учесть, что $U(n\Delta\xi, m\Delta\eta) = |U(n\Delta\xi, m\Delta\eta)| \exp(i \arg U(n\Delta\xi, m\Delta\eta))$, то из условия (9) следуют простые приближенные соотношения для вычисления параметров кодирования [7–9]:

$$\left. \begin{aligned} \text{а)} \quad W_{nm} &= \text{const} A_{nm}, \\ \text{б)} \quad P_{nm} &= \frac{\varphi_{nm}}{2\pi}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\text{где } A_{nm} = |U(n\Delta\xi, m\Delta\eta)|, \varphi_{nm} = \arg U(n\Delta\xi, m\Delta\eta), \text{const} = \frac{\text{const}_1}{\text{const}_2} \quad (11)$$

Рассмотрим третье приближение (8, в) допущения (8). Его последствие приводит к искажению, вызванному наличием ошибки фазы в апертуре. Фазовая ошибка $\delta\varphi_{nm} = 2\pi P_{nm} \Delta\xi x$, возникающая из-за допущения (8, в), может оказать более сильное влияние на качество изображения, чем амплитудная погрешность, возникающая из-за допущений (8, а) и (8, б) [10].

В связи с этим возникает необходимость модернизации метода, которая могла бы полностью устранить или уменьшить эту фазовую ошибку, что и является целью настоящего исследования.

Метод действительной фазы и задача уточнения фазового сдвига

Из всего вышеизложенного следует, что необходимы меры по уменьшению фазовой ошибки. Источником фазовой ошибки является смещение (сдвиг) апертуры в Фурье-плоскости относительно точки отсчета, вследствие чего фаза дифрагированной волны при восстановлении изображения равна фазе Фурье-образа в точке отсчета, а не реальной фазе, приходящейся на апертуру. То есть свет, проходящий через апертуру, расположенную в точке с координатами $(n\Delta\xi + P_{nm}\Delta\xi, m\Delta\eta)$, несет информацию, содержащуюся в точке с координатами $(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$.

Поэтому в работе [3] её авторы из эвристических соображений считают, что вышеуказанная фазовая ошибка может быть устранена, если каждую апертуру располагать так, чтобы ее положение соответствовало значению фазы Фурье-образа в данной точке, а не значению фазы в точке отсчета. В этом случае параметр P_{nm} следует находить из решения уравнения

$$2\pi P_{nm} = \varphi[(n + P_{nm})\Delta\xi, m\Delta\eta] + 2\pi L_{nm}, \quad (12)$$

где L_{nm} – некоторое целое число.

Подобный способ кодирования назван методом *действительной* (или *верной, реальной*) фазы.

Кодирование фазы осуществляется с помощью простого кодирующего соотношения (10, б) и уравнения (12). Для обозначения зависимости главного значения аргумента (приведенного к интервалу $[-\pi, \pi]$) Фурье-образа $U(\xi, m\Delta\eta)$ от относительной (приведенной) абсциссы $\bar{\xi} = \xi / \Delta\xi$, введена функция

$$\begin{aligned} \Phi_U(\bar{\xi} / \Delta\xi) &\equiv \varphi(\bar{\xi}, m\Delta\eta) = \arg U(\bar{\xi}, m\Delta\eta) = \\ &= \text{mod}[2\pi, \text{Arg}U(\bar{\xi}, m\Delta\eta)], \quad (13) \end{aligned}$$

а для обозначения зависимости главного значения аргумента восстанавливающей волны $R(\bar{\xi}, m\Delta\eta)$ введена функция

$$\begin{aligned} \Phi_R(\bar{\xi} / \Delta\xi) &\equiv \arg R(\bar{\xi}, m\Delta\eta) = \\ &= \text{mod}[\text{Arg}R(\bar{\xi}, m\Delta\eta), 2\pi] = \\ &= \sum_{n=-N}^N \text{rect}\left(\frac{\bar{\xi} - n\Delta\xi}{\Delta\xi}\right) \frac{2\pi}{\Delta\xi} (\bar{\xi} - n\Delta\xi), \quad (14) \end{aligned}$$

где $\text{mod}[\psi, 2\pi]$ означает значение угла ψ по модулю 2π . Следовательно, они являются разрывными функциями с точками разрыва первого рода.

Компьютерное моделирование и его результаты

Прежде всего, кратко изложим алгоритм уточнения фазы. Он основан на разбиении

в пределах каждой ячейки (n, m) интервал $[n\Delta\xi - \frac{\Delta\xi}{2}, n\Delta\xi + \frac{\Delta\xi}{2}]$ на $K_{\text{инт}}$ участков точками

$\xi_{n,m}^k = n\Delta\xi - \frac{\Delta\xi}{2} + k\Delta P$, где $k = 0, 1, 2, \dots, K_{\text{инт}}$; $\Delta P = \Delta\xi / K_{\text{инт}}$ и решении уравнения (12) с аппроксимацией функции $\varphi[(n + P_{nm})\Delta\xi, m\Delta\eta]$ кусочно-линейной функцией

$$\tilde{\varphi}(P_{nm}, m\Delta\eta) = \sum_{k=1}^{K_{\text{инт}}} \text{rect} \left[\frac{P_{nm} - (k + 0,5)\Delta P}{\Delta P} \right] \left[\varphi(\xi_{n,m}^{k-1}) + \frac{\varphi(\xi_{n,m}^k) - \varphi(\xi_{n,m}^{k-1})}{\Delta P} (P_{nm} - \xi_{n,m}^{k-1}) \right],$$

где $\varphi(\xi_{n,m}^k) = \arg U(n\Delta\xi + k\Delta P)$, и последующим решением линейного уравнения, корнем которого графически является абсцисса точки пересечения аппроксимирующей прямой $\tilde{\psi}_k(z)$ и прямой $\tilde{\psi}_k(z)$, где $z = \frac{\xi - n\Delta\xi}{\Delta\xi} = \frac{\xi}{\Delta\xi} - n$.

1. При проведении экспериментов на построенной компьютерной модели в качестве исходного голографируемого объекта была выбрана фотография, приведенная на рис. 3.



Рис. 3. Исходное изображение

2. Качество восстановленного изображения оценивалось среднеквадратическим отклонением (СКО) восстановленного изображения от исходного голографируемого объекта по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{N_I M_I} \sum_{r=1}^{N_I} \sum_{s=1}^{M_I} \left[\left| \tilde{h}(x_r, y_s) \right| - K \left| \tilde{u}(x_r, y_s) \right| \right]^2,$$

где $K = \frac{\langle \tilde{h}(x_r, y_s) \rangle}{\langle \tilde{u}(x_r, y_s) \rangle}$, $N_I = \frac{a_I}{\Delta x}$, $M_I = \frac{b_I}{\Delta y}$,

$$x_r = \Delta x \left(r - \frac{N_I + 1}{2} \right), y_s = \Delta y \left(s - \frac{M_I + 1}{2} \right)$$

$\Delta x, \Delta y$ – шаги дискретизации исходного объекта;

3. Для выяснения зависимости качества восстановленного изображения σ^2 от степени уточнения $K_{\text{инт}}$ были вычислены значения среднеквадратического отклонения σ^2 для различных значений $K_{\text{инт}}$, по которым получена кривая, приведенная на рис. 4, а. Из этого рисунка видно, что оптимальное значение $K_{\text{инт}}$ лежит в пределах от 4 до 8.

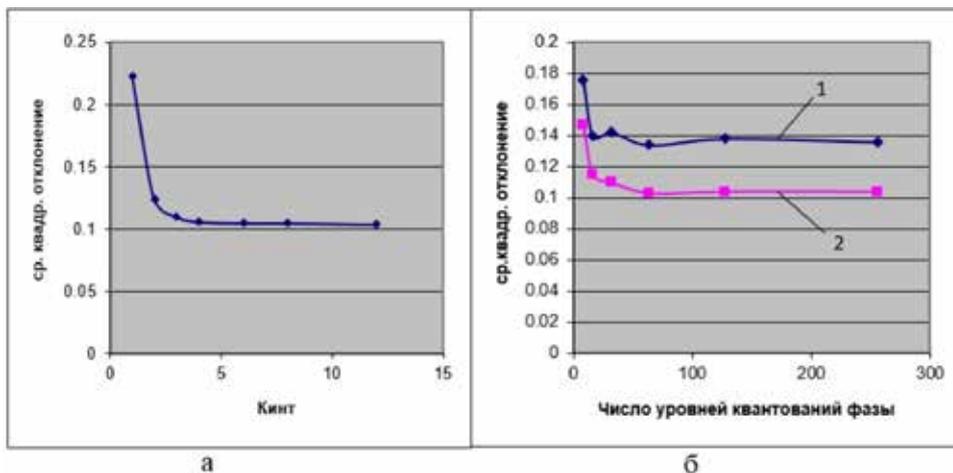


Рис. 4. Зависимости качества восстановленного изображения от: а – среднеквадратического отклонения σ^2 для различных значений $K_{\text{инт}}$; б – числа уровней квантования фазы

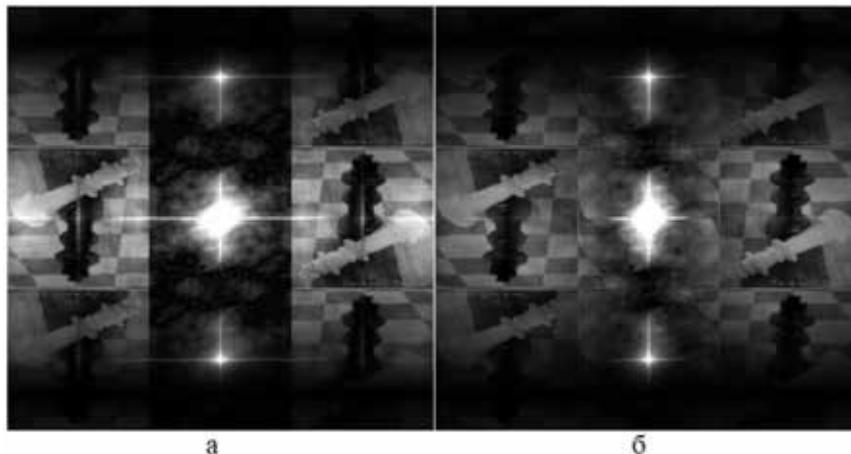


Рис. 5. а – изображение, восстановленное с голограммы, синтезированной методом действительных фаз; б – изображение, восстановленное с голограммы, синтезированной простым методом Ломана

4. По результатам моделирования получены кривые зависимостей качества восстановленного изображения от числа уровней квантования фазы для случаев простого метода и метода действительной фазы. Они приведены на рис. 4, б (кривая 1 соответствует случаю простого метода, а кривая 2 – случаю действительной фазы). Из сравнения кривых 1 и 2 следует: уточнение фазового действительно дает положительный эффект с точки зрения минимума средне-квадратического отклонения; оптимальное значение числа уровней квантования лежит в пределах от 48 до 100.

5. Получены картины восстановленных изображений для случаев действительной фазы (рис. 5, а) и простого метода Ломана (рис. 5, б). Эти рисунки представлены в трехкратном уменьшении, так как при восстановлении голограмм происходит мультипликация изображений, что приводит к сильному увеличению размера рисунка.

Заключение

Наиболее эффективным способом решения поставленной задачи является компьютерное моделирование процессов синтеза и восстановления цифровых голограмм. Для этого, прежде всего, были выполнены следующие действия:

1. Разработан алгоритм расчета голограммы Ломана с использованием простых кодирующих соотношений (1).

2. Разработан эффективный алгоритм уточнения фазового сдвига (т.е. численного решения уравнения (12)), такой, что построенная на его основе компьютерная программа требует меньше оперативной памяти и объема вычислений.

3. На основе результатов двух предыдущих пунктов была построена компьютерная модель процессов синтеза и восстановления голограмм, как простым методом Ломана, так и методом действительной фазы. Полученная модель позволила провести необходимые исследования.

Список литературы

1. Brown B.R., Lohmann A.W. Complex spatial filtering with binary masks. *Appl. Opt.* 1966. Vol. 5. No. 6. P. 967–969.
2. Lohmann A.W., Paris D.P. Binary Fraunhofer holograms generated by computer. *Appl. Opt.* 1967. Vol. 6. No.10. P. 1729–1748.
3. Brown B.R., Lohmann A.W. Computer-generated binary holograms. *IBM Journ. Res. Develop.* 1969. Vol. 13. No. 2. P. 160–168.
4. Park J., Hahn J., Kim H. Parallel Synthesis Algorithm for Layer-based Computer-generated Holograms Using Sparse-field Localization. *Current Optics and Photonics.* 2021. Vol. 5. Issue 6. P. 672–679.
5. Su P., Cao W., Ma J., Cheng B., Liang X., Cao L., Jin G. Fast Computer-Generated Hologram Generation Method for Three-Dimensional Point Cloud Model. 2016. *Journal of Display Technology.* Vol. 12. Issue 12. P. 1688–1694.
6. Gan Z., Peng X., Hong H. An Evaluation Model for Analyzing the Overlay Error of Computer-generated Holograms. *Current Optics and Photonics.* 2020. Vol. 4. Issue 4. P. 277–285.
7. Jung-Ping L., Heng-Kuang L. Fast occlusion processing for a polygon-based computer-generated hologram using the slice-by-slice silhouette method. *Applied Optics.* 2018. Vol. 57. Issue 1. P. A215–A221. DOI: 10.1364/AO.57.00A215.
8. Исманов Ю.Х. Восстановление изображения волнами различной длины // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики.* 2015. № 4. С. 30–33.
9. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку // *Вестник КГУСТА.* 2017. № 3 (57). С. 171–178.
10. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Абдулаев А.А. Моделирование оптической системы, работающей при некогерентном освещении // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2020. № 3. С. 98–102.

СТАТЬИ

УДК 544.2:678

**СВОЙСТВА ИОН-ИМПРИНТИРОВАННОГО СОРБЕНТА,
НАСТРОЕННОГО НА ИОН Cr^{6+}**

Касымова Э.Дж., Турсуналиева К.С., Кыдралиева К.А.

Международный Медицинский Университет, Бишкек, e-mail: kasymova_elvira@mail.ru

В области импринтинговой технологии используются магнитные материалы, которые все чаще применяются в области рекультивации почвы и реабилитации окружающей среды, также в медицине, биотехнологии и многих других областях. Привлекательность импринтированных полимеров для практического использования обусловлена такими их свойствами, как высокая стабильность, простота получения, сопоставимость с природными рецепторами, аффинность и селективность. Объединение свойств полимера и наномангнитных частиц, полученных импринтингом, образует композиционные материалы, обладающие селективными и магниточувствительными свойствами к целевым ионам металлов, которые легко удаляются из водных растворов. В данной статье описан синтез магнитных ион-импринтированных полимеров на основе сополимеризации 4-винилпиридина с функционализированным магнетитом, в качестве темплата использовали ион хрома. Главным преимуществом ион-импринтированных полимеров является «настроенность» на определенный тип металла. Полимеры обладают высоким селективным извлечением целевых ионов металлов из их смеси. Приведены значения pH, при котором полученный композит как для импринтированного магнитного полимера, так и для соответствующего неимпринтированного полимера, определена максимальная адсорбционная способность полученного сорбента, также определено оптимальное время для адсорбции ионов Cr^{6+} . Полученный сорбент обладает высокой селективной способностью по отношению к ионам Cr^{6+} .

Ключевые слова: импринтинг, ион-импринтированный сорбент (ИИС), неимпринтированный сорбент (НИС), композит, настроенный сорбент, селективный сорбент

PROPERTIES OF ION-IMPRINTED SORBENT TUNED TO Cr^{6+} ION

Kasymova E.Dzh., Tursunaliyeva K.S., Kydraliyeva K.A.

International Medical University, Bishkek, e-mail: kasymova_elvira@mail.ru

Magnetic materials are used in the field of imprinting technology, which are increasingly used in the field of soil reclamation and environmental rehabilitation, as well as in medicine, biotechnology and many other fields. The attractiveness of imprinted polymers for practical use is due to their properties, such as high stability, ease of preparation, comparable to natural receptors, affinity and selectivity. Combining the properties of polymer and nanomagnetic particles obtained by imprinting form composite materials with selective and magnetically sensitive properties to target metal ions, which are easily removed from aqueous solutions. This article describes the synthesis of magnetic ion-imprinted polymers based on the copolymerization of 4-vinylpyridine with functionalized magnetite, a chromium ion was used as a template. The main advantage of ion-imprinted polymers is the “attunement” to a certain type of metal. Polymers have a high selective extraction of target metal ions from their mixture. The pH values at which the resulting composite is both for the imprinted magnetic polymer and for the corresponding non-imprinted polymer are given, the maximum adsorption capacity of the resulting sorbent is determined, and the optimal time for adsorption of Cr^{6+} ions is also determined. The resulting sorbent has a high selective ability with respect to Cr^{6+} ions.

Keywords: imprinting, ion-imprinted sorbent (IIS), non-imprinted sorbent (NIS), composite, tuned sorbent, selective sorbent

Одной из наиболее важных глобальных проблем является загрязнение воды [1], что приводит к изменению физико-химических свойств воды. В течение длительного времени загрязнение водных объектов тяжелыми металлами вызывает беспокойство. Тяжелые металлы, неорганические загрязняющие вещества, становятся основными экологическими загрязнителями [2]. Известны литературные данные, в которых достаточно доказательств влияния антропогенного фактора на загрязнение водных источников [3]. Индустриализация и урбанизация вызвали чрезмерный выброс тяжелых металлов в окружающую среду. Сточные воды, содержащие тяжелые металлы, прямо или косвенно выбрасываются в окружающую

среду [4], убивая водную. В отличие от органических загрязнителей, тяжелые металлы не являются биodeградируемыми и не подвергаются бактериальной атаке или другим процессам разрушения или деградации. Например, хром имеет много промышленных применений, его соединения могут быть использованы для ингибирования коррозии. Хром и его соединения также применяются в производстве чернил, промышленных красителей и пигментов. Другие виды использования хрома включают производство нержавеющей стали, кожевенное производство, сохранение древесины, удобрения, хромирование, текстиль, фотография и т.д. Анионы дихромата также могут быть использованы для окисления

различных функциональных групп, таких как альдегиды и спирты, но их ограниченная растворимость в неводных растворах вызывает постоянный интерес к разработке новых реагентов хрома (VI) для эффективного окисления органических субстратов. Хром является одним из тех тяжелых металлов, которые существуют в переменных состояниях окисления, из которых Cr (III) и Cr (VI) являются наиболее распространенными в окружающей среде. Cr (III) является важным элементом для людей и животных и играет важную роль при метаболизме инсулина. Также Cr (III) считается микроэлементом для многих живых организмов, в то время как Cr (VI) является раздражителем для растений и тканей животных. Известно также, что шестивалентная форма хрома очень токсична для людей и вызывает хронические побочные. Cr (VI) является канцерогенным из-за его высокого потенциала окисления и его способности проникать в биологические мембраны. В настоящее время существует множество методов, которые используются для удаления и извлечения металлов из окружающей среды [5]. Наиболее распространенные методы восстановления при удалении тяжелых металлов из воды включают химическое осаждение, ионный обмен, электроосаждение, мембранную технологию, обратный осмос, нанофильтрацию, нейтрализацию известью, фиторемедиацию и электродиализ. Всегда требовались более эффективные методы удаления ионов металлов из сточных вод до их выхода в окружающую среду. Опять же, большинство из этих традиционных методов являются неэкономичными и имеют много недостатков, таких как не-

полное удаление металла, высокие требования к реагенту, неспецифичность и низкая селективность. Это вызвало необходимость разработки новых методов, способных к дополнительной очистке сточных вод и извлечения этих металлов. Известны альтернативные недорогие материалы в качестве потенциальных сорбентов для удаления тяжелых металлов. Некоторые из адсорбентов, используемых для рекультивации, включают активированный уголь, хитозан, синтетические полимеры, углеродные нанотрубки и цеолиты. При адсорбции, после удаления загрязняющих веществ, всегда использовали фильтрацию и центрифугирование для отделения адсорбентов от растворов. Однако это становится очень трудным при дезактивации больших объемов сточных вод. Следовательно, использование этого подхода на промышленном уровне становится ограниченным. Альтернативный подход, который может стать популярным, это включение магнитных материалов в адсорбент.

Синтез и характеристика ион-импринтированных магнитных сорбентов, настроенных на Cr (VI). Влияние конкурирующих анионов на поглощение Cr(VI) магнитными ион-импринтированными сорбентами. Возможность повторного использования ион-импринтированных магнитных полимеров. Cr (VI) является высокорастворимым и может переноситься на большое расстояние до того, как он обратно перейдет в трехвалентное состояние. В водном растворе шестивалентные хроматы могут существовать в различных оксоформах, а именно: дихромат ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), гидрохромат (HCrO_4^-) или хромат (CrO_4^{2-}) в зависимости от концентрации и pH-среды.

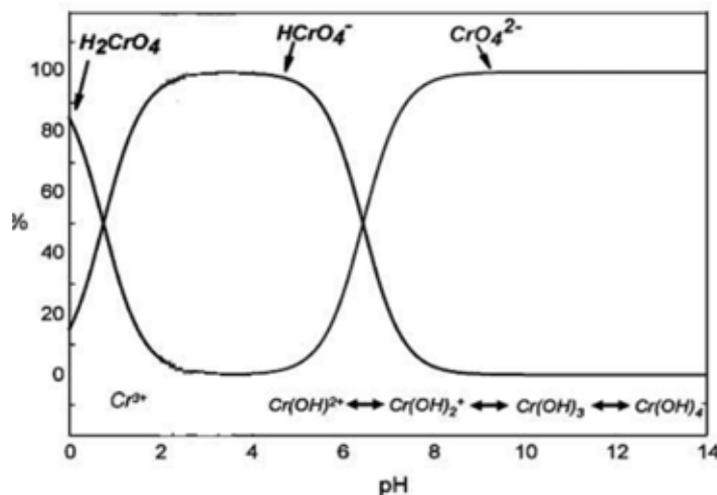


Рис. 1. Схема распределения Cr (III) и Cr (VI) в водной системе

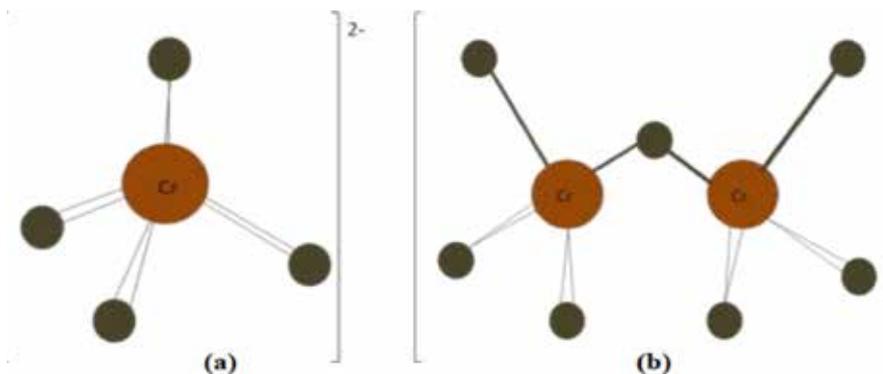


Рис. 2. Структуры (а) хромата и (б) дихромата анионов

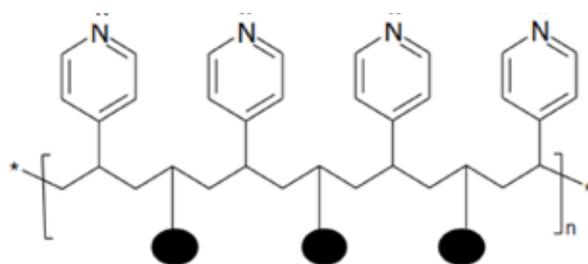


Рис. 3. Структура магнитного поли(4-винилпиридина)

Изменение между хроматом и дихроматом зависит от рН-среды. В кислом растворе предпочтительным является желтый дихромат, в то время как в щелочном растворе наблюдается хромат синего цвета. Структуры анионов хромата и дихромата показывают, что длины связей Cr-O составляют 166 мкм и 163 мкм соответственно, а мостиковая связь Cr-O составляет 179 мкм, тогда как угол связи Cr-O-Cr составляет 126°. Структуры этих двух анионных форм хрома основаны на совместном использовании угла тетраэдрической структуры иона хромата, поскольку полимеризация протекает при низком значении рН.

Материалы и методы исследования

Проведена сополимеризация 4-винилпиридина с функционализированным магнетитом. На рис. 3 показана раскрытая структура магнитного поли(4-винилпиридина).

Для удаления металлических оксианионов в водных средах необходимо ввести положительный заряд путем контактирования частиц поли(4-винилпиридина) с кислотами, такими как соляная кислота (Barakat and Sahiner, 2008). Выбрана алкильная группа для преобразования полиэлектролита с положительным зарядом. Использовали растворитель с высокой диэлектрической постоянной (Masamoto et al.,

1960) диметилформамид. Образовавшиеся ионы бромида диффундировали от катионного полиэлектролита в пиридин. На рис. 4 показана реакция n-пропилбромидом с магнитным поли(4-винилпиридином).

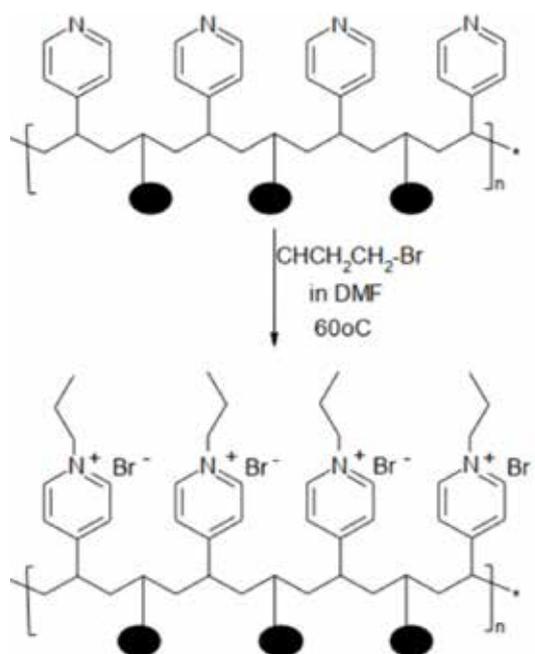


Рис. 4. Общая схема реакции n-пропилбромидом с магнитным поли(4-винилпиридином)

Ион-импринтированный магнитный поли(4-винилпиридин), настроенный на ионы дихромата, является полимерной основой для образования микрополостей. Сшивание проводили диметакрилатэтиленгликолем для структурной жесткости. Это гарантировало, что магнитные полимеры не смогут разрушаться в растворе во время их применения при адсорбции. После сшивания магнитные полимеры выщелачивали 7 раз 1 М раствором HCl. Эти растворы анализировали на содержание ионов Cr⁶⁺ ААС (атомно-адсорбционная спектроскопия). Выщелачивание прекращалось только после того, как содержание хрома становилось нулевым или близким к нулю. Затем магнитные полимеры промывали дистиллированной водой, чтобы удалить все избыточные ионы Cl⁻ и высушивали в муфельной печи при 50 °С в течение 12 ч. Выщелачивание Cr (VI) проводили в диапазоне pH = 2–10 при комнатной температуре в разных количествах от 5 до 120 мг. Исследована зависимость времени контакта Cr (VI) с ион-импринтированными магнитными полимерами, селективность на фоне конкурирующих анионов, а также повторное использование ион-импринтированных сорбентов.

Результаты исследования и их обсуждение

ИК-спектры Фурье магнитного поли(4-винилпиридина) с ионами дихромата показали появление пиков в области 943 и 934 см⁻¹, что соответствуют связям Cr-O и Cr = O. При выщелачивании ионов хрома с образованием пор в магнитной полимерной матрице происходило частичное вымывание магнетита. Однако важно отметить, что магнетит не был полностью разрушен, это проверялось действием магнитного поля. Последняя промывка магнитного ион-импринтированного сорбента обнаружила 0,3 мг/л и 8,6 мг/л хрома и магнетита соответственно. Протонирование на активных участках внутри сорбента зависит от pH среды. Положительный заряд отвечает за поглощение анионов Cr₂O₇²⁻ и других анионов. Поскольку гидроксильные ионы являются возможными конкурентами при сорбции дихромата, становится очевидным, что pH среды влияет на адсорбцию. Оптимальный pH для поглощения Cr (VI) равен 4, что соответствовало удалению 90 и 73% Cr (VI) из магнитного ион-импринтированного и неимпринтированного сорбентов соответственно. Эффективность удаления Cr (VI) снижалась при значениях pH более 6 как для магнитного ион-импринтированного (ИИС) и неимпринтированно-

го сорбентов (НИС). Процентное содержание Cr (VI) при удалении увеличивалось с увеличением количества магнитного ион-импринтированного сорбента из-за большей доступности адсорбционных участков внутри сорбента. Для магнитного ИИС увеличение количества адсорбента составило от 5 до 20 мг, что приводило к увеличению от 83 до 97% эффективности адсорбции ионов Cr (VI), в то время как увеличение количества сорбции Cr (VI) от 47 до 95% наблюдалось от 5 до 65 мг магнитного неимпринтированного сорбента. Оптимальные количества магнитного полимера выбраны равными 20 и 65 мг для магнитного ИИС и НИС соответственно. Учитывая начальный объем 25 мл как для магнитного ИИС, так и для НИИ, объем составлял 0,8 г/г и 2,6 г/г соответственно. Удаление Cr (VI) магнитными полимерами в зависимости от времени контакта показало, что максимальное поглощение Cr₂O₇²⁻ наблюдалось в течение 30–35 мин как для магнитного ИИС, так и для НИС. До этого времени наблюдалась высокая скорость накопления аналита в адсорбционных участках в магнитной полимерной матрице. После достижения равновесия дальнейшее увеличение адсорбции Cr (VI) не наблюдалось, поскольку все адсорбционные участки были насыщены. Начальная концентрация хрома составила 1–20 мг/л. В этом эксперименте зафиксировано количество магнитного полимера, необходимого для максимальной сорбции, а также время контакта и pH раствора, обнаружено, что удаление магнитными полимерами Cr (VI) значительно увеличилось от 1–2,5 мг/л и 1–1,5 мг/л для магнитных ИИС и НИС соответственно. Первоначальная концентрация Cr (VI) составила 5 мг/л, которая является оптимальной. После этого значения было достигнуто равновесие, поскольку не было заметного увеличения количества аналитов, адсорбированных на магнитных полимерах. Максимальная адсорбционная способность для магнитных полимеров, соответствующих рассматриваемой оптимальной концентрации Cr (VI) 5 мг/л, что составляло 6,20 и 1,87 мг/г для магнитных ИИС и НИС соответственно. Поскольку раствор HCl использовали в качестве выщелачивателя, вполне вероятно, что ион Cl⁻ повлиял на исследования селективности. Такие ионы, как сульфатные и фосфатные, выбраны в качестве потенциальных конкурентов из-за их химического родства по отношению к иону дихромата. Порядок селективности исследованных анионов выглядит следующим образом: Cr₂O₇²⁻ > SO₄²⁻ > F⁻ > NO₃⁻. Поскольку многократное использование

магнитных полимеров является важным фактором, выполнено шесть циклов адсорбции-десорбции. Наблюдалось, что магнитные полимеры ИИС и НИС сохраняют свою стабильность, а также адсорбционную способность на хром, что составляет 98,5% и 89% соответственно. Эта высокая надежность импринтированных полимеров важна для их очистки, тем самым восстанавливая адсорбционные свойства. Синтезированные ИИС использовались в течение пяти циклов и показали эффективность извлечения 96%.

Заключение

Метод импринтинга показал, что отпечаток Cr (VI) может быть индуцирован в магнитном полимере, даже в присутствии других конкурирующих ионов в водных средах, где наблюдается высокая селективность. После адсорбции адсорбенты традиционно удаляли из растворов путем центрифугирования и фильтрации. Методика внесения магнитных частиц в полимерную матрицу, как показано в этом исследовании, делает частицы полимера полностью магнитными, и это дает возможность легко удалять их из растворов. ИК-спектры Фурье показали, что включение магнетита в полимер успешно, появляется полоса, которая соответствует Cr (VI). Как магнитные ИИС,

так и НИС показали высокий потенциал в поглощении ионов хрома из загрязненных растворов, так как ион-импринтированные магнитные полимеры успешно применялись для селективной экстракции соответствующих аналитов из различных сложных образцов. У магнитных ИИС наблюдается высокое поглощение ионов дихромата по сравнению с их соответствующими магнитными НИС.

Список литературы

1. Zou Y., Wang X., Khan A., Wang P., Liu Y., Alsaedi A., Hayat T. Environmental remediation and application of nanoscale zerovalent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: a review. *Environ. Sci. Technol.* 2016. No 50. P. 7290–7304.
2. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* 2015. № 2 (13). С. 97–109.
3. Vukčević M., Pejić B., Kalijadis A., PajićLijaković I., Kostić M., Laušević Z., Laušević M. *Chemical Engineering Journal.* 2014. Vol. 235. No. 1. P. 284–292.
4. Huang J., Jones A., Waite D., Chen Y., Huang X., Rosso K., Kappler A., Manso M.r, Paul G. Fe (II) Redox Chemistry in the Environment. *Chemical Reviews.* 2021. Vol. 121 (13). P. 8161–8233.
5. Ву Хоанг Иен, Као Ньят Линь, Зяблов А.Н. Анализ свойств пленок молекулярно-импринтированных полимеров на основе полиимида // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2021. Т. 21. № 3. С. 360–368.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТЕНИЯ *LEPIDIUM RUDERALE*

Шертаева Н.Т., Шаграева Б.Б., Кыбраева Н.С., Битурсын С.С.

Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Шымкент,
e-mail: Nailyaximik@mail.ru

В данной работе проведены фитохимические исследования надземной части растения клоповник сорный (*Lepidium ruderales*). Большинство фитохимических веществ имеют ценную терапевтическую активность, такую как антибактериальная, противогрибковая, спазмолитическая и антиоксидантная и т.д. Было проведено количественное определение дубильных веществ методом спектрофотометрии. Предложена методика количественного определения аскорбиновой кислоты (витамина С). Для количественного определения сапонинов была проведена экстракция, определение экстрактивных веществ, после разделения сырья на фракции (по размеру) 0; 0,25; 0,1; 0,5 и 2 мм растение клоповник сорный (*Lepidium ruderales*) было исследовано, чтобы узнать, при какой величине сырья экстракция растения протекает с большим выходом. В качестве экстрагента использовался 70 % этанол. Найден новый источник биологически активных веществ *Lepidium ruderales* L. рода *Lepidium*. В Казахстане встречается 20–25 видов растений, лекарственная ценность которых до конца не изучена. Сырье исследовано на соответствие качеству, по методам, приведенным в Национальной фармакопее РК. Впервые определен микроэлементный состав зольного остатка сырья. По количеству содержания тяжелых металлов сырье не может быть использовано, так как ПДК превышают норму.

Ключевые слова: биологически активные вещества, хроматография, масс-спектрометрия, титрование, гравиметрия

QUANTITATIVE DETERMINATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PLANT *LEPIDIUM RUDERALE*

Shertaeva N.T., Shagraeva B.B., Kybraeva N.S., Bitursyn S.S.

South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, e-mail: Nailyaximik@mail.ru

In this work, we carried out phytochemical studies of the aerial part of the weed bedbug (*Lepidium ruderales*) plant. Most phytochemicals have valuable therapeutic activities such as antibacterial, antifungal, antispasmodic and antioxidant, etc. The main groups of biologically active substances of the plant have been established: flavonoids, tannins, saponins, ascorbic acid. Quantitative determination of tannins was carried out by spectrophotometry. The amount of flavonoids in 1 ml in mg was found according to the calibration graph and the content of the sum of flavonoids in terms of quercetin and absolutely dry raw materials. The optimal conditions for the determination of ascorbic acid were studied and selected. For the quantitative determination of saponins, extraction was carried out, the determination of extractive substances, after separation of the raw materials into fractions (by size): 0 mm, 0.25 mm, 0.1 mm, 0.5 mm and 2 mm, weed bug plants (*Lepidium ruderales*) was investigated on the subject at what value of raw materials the extraction of the plant proceeds with a large yield. 70% ethanol was used as an extractant. A new source of biologically active substances *Lepidium ruderales* L. of the genus *Lepidium* has been found. The raw materials were examined for compliance with the quality, according to the methods given in the National Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. The trace element composition of the ash residue of raw materials was determined for the first time. According to the amount of heavy metal content, the raw materials cannot be used, since the MPC exceeds the norm.

Keywords: biologically active substances, chromatography, mass spectrometry, titration, gravimetry

Поиск новых биологически активных веществ с различным спектром действия представляется весьма актуальной задачей. В связи с этим растение *Lepidium ruderales* рода *Lepidium* семейства Brassicaceae представляет большой интерес как растение в химическом отношении ранее не изученное. *Lepidium ruderales* имеет лекарственную ценность из-за содержащихся в нем различных фитохимических компонентов. Лекарственная сила растений зависит от наличия и количества фитохимических составляющих и оказывает определенное фармакологическое действие на человека [1].

Фитохимические, натуральные компоненты накапливаются в растениях, таких как лекарственные растения, овощи и фрукты, которые содержат питательные вещества и борются с заболеваниями или, что более характерно, защищают против болезней. Фитохимические компоненты сгруппированы в две главные категории, а именно: основные элементы, включающие аминокислоты, сахара, белки и хлорофилл и т.д., и вторичные элементы, состоящие из дубильных веществ, флавоноидов, сапонинов и т.д. [2].

Большинство фитохимических веществ имеют ценную терапевтическую актив-

ность, такую как антибактериальная, противогрибковая, спазмолитическая и антиоксидантная и т.д. Таким образом, растения находят свою лекарственную ценность из-за соответствующих фитохимических элементов, которые они содержат.

Целью работы являлось фитохимическое исследование надземной части растения клоповник сорный (*Lepidium ruderale*) и установление основных групп биологически активных веществ растения.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлось растение клоповник сорный (*Lepidium ruderale* L.), произрастающий в п. Баянауыл Павлодарской области Республики Казахстан.

Общая методология исследования: Государственная фармакопея Республики Казахстан [3].

Подлинность сырья устанавливали по внешним признакам, по первичным анализам (определение влажности, зольности, количества экстрактивных веществ), параметры которых должны соответствовать стандартам, для определенных видов растений. При несоответствии данных показателей стандартным данное сырье не могло в дальнейшем быть исследовано.

Растительное сырье измельчали для последующей экстракции из него биологически активных веществ (БАВ). Для этого применялась роликовая мельница T65B Ointment Mill (Torrey Hills Technologies, LLC, США). Ситовой анализ осуществляли просеиванием проб материала через набор стандартных сит, в результате чего материал разделялся на фракции. Для определения влажности сырья использовали сушильный шкаф марки ШСВ-65.

Для определения зольности была использована муфельная печь марки МИМП-17П.

Микроэлементное содержание было определено атомно-абсорбционным методом на спектрометре Shimadzu 6200 Series.

Точную навеску помещали в фарфоровый тигель и обугливали сырье, а затем прокаливали при температуре 500–550°C. Содержимое тигля растворяли концентрированной азотной кислотой и количественно перенесли в мерную колбу на 50 мл.

При количественном определении БАВ был использован спектрофотометр марки СФ-46. Использовались фильтры для грубых осадков и беззольные фильтры марки INGDR, весы аналитические AR 2140 Ohaus Corp., USA, центрифуга-ОПН-3, газовый хроматограф с масс-спектрометром Agilent 5975 GC-MSD.

Для качественного и количественного определения флавоноидов использовали спектрофотометрический метод, а дубильные вещества были определены перманганатометрическим методом.

Результаты исследования и их обсуждение

По известным и общепринятым методикам впервые определена доброкачественность сырья и изучен количественный состав биологически активных веществ растений клоповник сорный (*Lepidium ruderale*).

Количество влаги [4] определяли весовым методом. Весовой метод основан на изменении массы вещества, влажной и высушенной при определенных условиях. Для определения влажности необходимо взвешивание повторить несколько раз. Результаты приведены в табл. 1.

Определение содержания золы в растении проводили по ГОСТ [4].

Постоянная масса считается достигнутой, если разница между двумя взвешиваниями не превышает 0,0005 г. Результаты приведены в табл. 2.

Было проведено исследование по определению количества экстрактивных веществ в растении *L. Ruderale* по методике, приведенной в ГОСТ [4]. Полученные данные приведены в табл. 3.

Таблица 1

Данные определения влажности

Растение	m (г)	m ₁ (г)	Влажность (%)
<i>L. ruderale</i>	1,00029	1,00028	9,9971

Таблица 2

Данные определения общей золы в растении

Растение	m ₁ (г)	m ₂ (г)	Зольность (%)
<i>L. ruderale</i>	0,1312	1,0018	14,55

Таблица 3

Количество экстрактивных веществ в растительном сырье

Растение	m, (г)	m ₁ , (г)	Количество экстрактивных веществ (%)
<i>L. ruderale</i>	0,0637	1,0011	14,1396

Таблица 4

Зависимость степени экстракции от размеров сырья

Диаметр сита (мм)	Масса навески (г)	Δm_1 (г)	Масса сырья после экстракции (г)	% экстракции
0,0	1,0008	1,0011	0,0344	7,6381
0,1	1,0012		0,1036	22,9938
0,25	1,0015		0,093	20,635
0,5	1,0009		0,0507	11,2562
2	1,0011		0,037	8,2129

Таблица 5

Результаты определения дубильных веществ в растении клоповник сорный (*Lepidium ruderale*)

№	m (г)	Δm_1 (г)	D	C (мг\мл)	Содержание дубильных веществ (%)
1	1,0049	1,0052	0,26	0,3619	4,012
2	1,0056				
3	1,0051				

После разделения сырья на фракции (по размеру) 0; 0,25; 0,1; 0,5 и 2 мм определили, при какой величине сырья экстракция растения протекает с большим выходом. В качестве экстрагента использовался 70% этанол. Данные приведены в табл. 4.

В зольных остатках исследуемого растения было определено количественное содержание микроэлементов методом атомно-абсорбционного анализа при поглощении излучения в диапазоне 190–850 нм свободными атомами.

Нами определен микроэлементный состав 36 элементов. Проведенные исследования элементного состава показали, что изучаемый вид является перспективным источником микроэлементов.

Для количественного химического анализа использовали метод объемного перманганатометрического титрования по фармакопейной методике. Было проведено количественное определение дубильных веществ [4] в пересчете на танин. Для этого взяли навеску 2 г сырья и поместили в колбу, залили водой и кипятили 30 мин. Затем отобрали 25 мл от полученного содержимого в другой конический сосуд объемом 750 мл, прибавили 500 мл воды, 25 мл индикаторной жидкости. Титровали с перманганатом калия до окрашивания в золо-

тисто-желтый цвет. На основании полученных данных определения количественного содержания танинов можно конкретно говорить об использовании изучаемого растения, как бактерицидного, вяжущего, кровоостанавливающего средства. Результаты количественного определения дубильных веществ в растении клоповник сорный (*Lepidium ruderale*) приведены в табл. 5.

Количественно мы определяли содержание флавоноидов как биологически активных веществ по методике, описанной в Государственной фармакопее Республики Казахстан [3].

Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре Agilent при длине волны 380 нм в кювете толщиной 1 см.

Определение аскорбиновой кислоты проводилось перманганатометрическим методом в перерасчете на йодат калия. Результаты исследования приведены в табл. 7.

Для количественного определения сапонинов была проведена экстракция в течение 1 ч. После вторичной экстракции извлечение высушили и довели объем до 100 мл метанолом. Для приготовления исследуемого образца смешали 5 мл полученного извлечения с 5 мл реактива. В качестве стандартного образца использовали смесь 5 мл метанола и 5 мл реагента. Данные приведены в табл. 8.

Таблица 6

Содержание флавоноидов [5–6]

№	Масса навески (г)	ΔM_1 (г)	D Оптическая плотность	Концентрация флавоноидов (мг\мл)	Содержание флавоноидов (%)
1	1,0017	1,0019	0,21	0,0296	1,97
2	1,0021				
3	1,0019				

Таблица 7

Данные определения количества аскорбиновой кислоты

№	Масса навески (г)	Δm (г)	V_1 КЮ ₃ ушедший на титрование (мл)	V_2 объем КЮ ₃ холостой опыт (мл)	Содержание аскорбиновой кислоты (%)
1	2,0036	2,0038	0,7	0,65	2,6
2	2,0037				
3	2,0042				

Таблица 8

Количественное определение сапонинов

№	Масса навески (г)	Δm (г)	D_1 оптическая плотность, иссл. образец	D_2 оптическая плотность, контр. образец.	Содержание сапонинов (%)
1	2,0156	2,0128	2,3	0,5	2,5
2	2,0096				
3	2,0132				

Заключение

Результаты проведенного исследования показали, что в растении клоповник сорный (*Lepidium ruderale*) достаточное содержание биологически активных веществ, таких как флавоноиды [7–9], дубильные вещества, сапонины и витамин С, которые могут в перспективе расширить ассортимент эффективных доступных отечественных лекарственных фитопрепаратов в медицине и в сельском хозяйстве Республики Казахстан. Впервые в надземной части исследуемого растения установлено количественное содержание основных групп БАВ: флавоноидов (1,97), дубильных веществ (4,012), сапонинов (2,5), витамина С (2,6).

Список литературы

1. Байтенов М.С. Флора Казахстана. Т. 4. Алматы: «Гылым», 2001. С. 318–320.
2. Бурашева Г.Ш., Ескалиева Б.К., Умбетова А.К. Табиғи қосылыстар химиясының негіздері. (Основы химии природных соединений). Алматы: Қазақ университеті, 2013. С. 119–120.
3. Государственная фармакопея РК. Т. 1. Алматы: Изд. дом «Жибек жолы», 2008.
4. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. С. 119–124.
5. Ботиров Э.Х., Юлдашев М.П., Маткаримов А.Д., Маликов В.М. Кумарины, флавоноиды и лигнаны пяти видов растений рода *Haplophyllum a. Juss* // Химия растительного сырья, 2015. № 1. С. 5–14.
6. Байсаров Г.М., Жуматаева А.Р., Мукушева Г.К., Шульц Э.Э., Сейдахметова Р.Б., Адекенов С.М. Флавоноидные соединения *Artemisia glabella Kar.et Kir.* синтезы на их основе и их биологическая активность // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 215–222.
7. Shertaeva N., Sabiralieva Zh., Zharlykapova R., Taubaeva R. Definition of flavonoids and alcaloids in the plant *Asplenium septentrionale*. Journal of International Pharmaceutical Research. ISSN: 2019. 1674-0440. P. 694–696.
8. Карпова Е.А., Каракулов А.В. Флавоноиды некоторых видов рода *Rhododendron l.* флоры Сибири и Дальнего Востока // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 119–126.
9. Дмитриенко В.А., Кудринская В.А., Аляри В.В. Методы выделения, конденсирования и определения кверцетина // Журнал аналитической химии. 2012. Т. 67, № 4. С. 340–353.