

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 1 2017 (ЯНВАРЬ)

Учредитель журнала

Общество с ограниченной ответственностью

**«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

**Редакционный совет**

*А.В. Царегородцев* — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет

*Ю.Б. Миндлин* - к.э.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологий им. К.И. Скрябина

*М.М. Безрукова* — д.б.н., профессор, директор Института возрастной физиологии РАО

*Н.Н. Грачев* — профессор Московского государственного института электроники и математики (технический университет), доктор высшей ступени в области технических наук (Doctor Habilitatus),

*А.И. Гусева* — д.т.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*А.Я. Качанов* — д.воен.н., профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

*И. Квасов* — д.т.н., профессор, академик Казахской Национальной Академии естественных наук, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

*С.М. Надежкин* — д.б.н., профессор Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

*Б.А. Прудковский* — д.т.н., профессор, эксперт по высшему образованию группы компаний «ИНТЕРСЕРТИФИКА»

*С.Э. Саркисов* — д.м.н., профессор Научного центра акушерства, гинекологии и перинатологии

*В. Сергеевский* — д.х.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*А.П. Симоненков* — д.м.н., профессор Института хирургии им. Вишневского РАН

*Издатель:*

Общество с ограниченной ответственностью

**«Научные технологии»**

*Адрес редакции и издателя:*

109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10

Тел/факс: 8(495) 755-1913

E-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)

<http://www.nauteh-journal.ru>

<http://www.vipstd.ru/nauteh>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия.

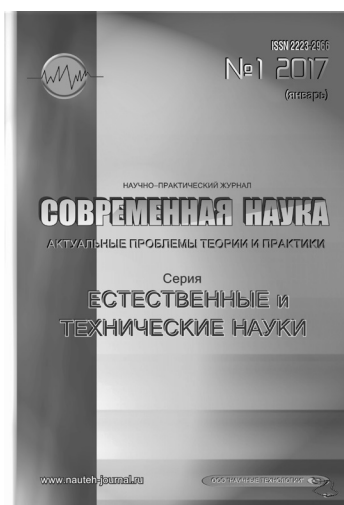
Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(БАК - 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00, 03.02.00, 14.01.00)



**В НОМЕРЕ:**

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,  
МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ,  
РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ, ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И УПРАВЛЕНИЕ, КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Журнал издается с 2011 года

*Редакция:*

**Главный редактор**

А.В. Царегородцев

**Выпускающий редактор**

Ю.Б. Миндлин

**Верстка**

А.В. Романов

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016

В течение года можно произвести  
подписку на журнал непосредственно в редакции.

Авторы статей несут полную ответственность  
за точность приведенных сведений, данных и дат.

При перепечатке ссылка на журнал  
«Современная наука:

Актуальные проблемы теории и практики» обязательна.

Журнал отпечатан в типографии

ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296

Подписано в печать 28.01.2016 г. Формат 84x108 1/16

Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

- Ерофеевская Л.А.** — Влияние природных факторов на развитие почвенной микрофлоры и её участие в восстановлении плодородия техногенно-нарушенных земель  
*Erofeevskaia L.* — Influence of natural factors on development of a soil microflora and its participation in increase in fertility of the technogenic broken lands ..... 3

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Окунева Д.В.** — Исследование беспроводной сенсорной сети с мультимодальным распределением узлов на плоскости  
*Okuneva D.* — Research of the wireless sensor network with multimodal distribution nodes on the plane ..... 9

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Адволоткин Д.И.** — Моделирование железнодорожного моста в условиях воздействия противника  
*Advolutkin D.* — Railway bridge simulation under the enemy's influence ..... 14
- Акимов Д.А., Котельников В.В., Скоселева Д.А., Дятченкова А.Ю.** — Прогнозирование остаточного ресурса на основе мягких вычислений  
*Akimov D., Skoseleva D., Dyatchenkova A., Kotelnikov V.* — Using neural networks with deep learning to predict and assess the ultimate resource structures of buildings ..... 20
- Андреинов А.Л.** — Краткий очерк эволюции ранних методов линейного программирования  
*Andrianov A.* — A brief sketch of the evolution of the early methods of linear programming ..... 23
- Лялин Д.А., Затонский А.В.** — Трёхмерная гравитационная модель для улучшения карт фигурного раскроя листовых материалов с учетом особенностей лазерного технологического комплекса  
*Lyalin D., Zatonsky A.* — Three-dimensional gravity model for improvement of cutting cards within the features of laser technological complex ..... 29
- Малюгин А.А., Казунин Д.В.** — Расчет динамограмм штангового насоса в режиме реального времени  
*Malyugin A., Kazunin D.* — The calculation of the dynamometer cards of sucker rod pump in real time ..... 36
- Потапов Д.А., Акимов Д.А.** — Выявление речевых конструкций повышающих точность работы системы информационного поиска  
*Potapov D., Akimov D.* — Identification speech design improves the accuracy of the information search system ..... 41
- Самарин И.В., Фомин А.Н.** — АСУ стратегического государственного планирования: применение военных потенциалов для формирования рационального плана экспорта российского вооружения  
*Samarin I., Fomin A.* — ACS strategic government planning: the use of military capabilities for the formation of a rational plan of Russian arms exports ..... 44
- Субботин А.М., Мурзакаев Р.Т.** — Оптимизация процесса вычисления холостого хода режущего инструмента за счет распараллеливания метаэвристического алгоритма  
*Subbotin A., Murzakaev R.* — Optimization of the process of calculating the cutting tool idling by metaheuristic algorithm parallelization ..... 50

- Тарасян В.С., Дмитриев Н.В.** — Восстановление плана горизонталей при обработке топографических карт  
*Tarasyan V., Dmitriev N.* — Reconstruction of contour lines chart at processing of topographic maps ..... 56

## КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

- Аляев Ю.Г., Григорян В.А., Атауллаханов Р.И., Шпоть Е.В., Соблиров Т.Б.** — Сравнительный анализ иммунного статуса пациентов с раком мочевого пузыря в до- и послеоперационном периоде  
*Alyayev Y., Grigoryan V., Ataullakhanov R., Shpot E., Soblirov T.* — Comparative analysis of the immune status of patients with bladder cancer in the pre- and postoperative period ..... 61
- Афанасьева Н.В., Семёнкина М.В.** — Научно-обоснованная система совершенствования медицинской помощи детям раннего возраста  
*Afanasieva N., Semenkina M.* — Science-based system to improve medical care for young children ..... 66
- Загородний Н.В., Ивашкин А.Н., Ауде Ф.С., Захарян Н.Г., Степанян Р.В., Безверхий С.В., Алиев Р.Н.** — Отдаленные результаты первичного эндопротезирования коленного сустава с применением модульных блоков для замещения костных дефектов медиального мыщелка большеберцовой кости  
*Zagorodniy N., Ivashkin A., Aude F., Zaharyan N., Stepanyan R., Bezverhij S., Aliev R.* — Functional results after primary knee arthroplasty with modular blocks for replacement of medial condyle bone defects of the tibia ..... 69
- Иванов В.В., Саганов В.П.** — Влияние фитотерапии на микробную адгезию у больных хроническим пиелонефритом и циститом  
*Ivanov V., Saganov V.* — Influence of phytotherapy on bacterial adhesiveness by chronic pyelonephritis and chronic cystitis patients ..... 75
- Кузнецова А.С., Долгушина А.И., Ананян К.Р., Акст Е.В., Гуль К.А., Маркина А.Ю., Савочкина А.Ю., Сумеркина В.А., Тюльганова В.Л., Коротнева Л.Е.** — Особенности неалкогольной жировой болезни печени у больных с сахарным диабетом 2 типа и ожирением  
*Kuznetsova A., Dolgushina A., Ananyan Ch., Axt E., Gul Ch., Markina A., Savochkina A., Sumerkina V., Tyulganova V., Korotneva L.* — Peculiarities of nonalcoholic fatty liver disease of patients with diabetes mellitus of the 2ND type and obesity ..... 80
- Мамырбаева М.А., Жумагалиева Г.Д.** — Критерии гепатита при внутриутробных инфекциях у новорожденных Актюбинской области Казахстана  
*Mamyrbayeva M., Zhumagaliyeva G.* — Hepatitis criteria for intrauterine infections in newborns Aktobe region of Kazakhstan ..... 85
- Титова Е.П., Савостьянова Е.Б., Савченко Е.Л., Сарычева Н.Н., Анохина Е.В.** — Анализ индивидуальной изменчивости гормонального статуса в связи с биологическим возрастом и конституцией человека (в пубертатном возрасте)  
*Titova E., Savostyanova E., Savchenko E., Sarycheva N., Anokhina E.* — Analysis of individual variability in the hormonal status in connection with biological age and constitution of man (at puberty) ..... 93

## ИНФОРМАЦИЯ

- Наши авторы  
Our Authors ..... 99
- Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ..... 100

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗВИТИЕ ПОЧВЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ И ЕЁ УЧАСТИЕ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

## INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON DEVELOPMENT OF A SOIL MICROFLORA AND ITS PARTICIPATION IN INCREASE IN FERTILITY OF THE TECHNOGENIC BROKEN LANDS

*L. Erofeevskaia*

*Summary.* Influence of natural factors on microbes the of soils of Yakutia is studied. The analysis of biological activity of soil ecosystems in the conditions of oil spill is carried out. It is established, the leading factors affecting on biological activity of soils and processes of its self-cleaning from naphtha are temperature, reaction of the soil environment, air oxygen access, moisture exchange. It is established that naphtha suppresses development of bacteria fixing nitrogen of the atmosphere and microorganisms destroying cellulose. Stimulates body height of sour bacteria and pathogenic mold fungi. The importation of biological products with simultaneous crops of the zoned grades of a pyreynik of Siberian (*Elymus sibiricus*) and a herd grass of meadow (*Phleum pratense*) is preferable to reduction of the deadlines of rehabilitation skirted lands. High performance of native microorganisms of the oil products destroying naphtha to transformation in climatic conditions of Far North is shown.

*Keywords:* petropollution, microorganisms, destruction, recultivation, phytotoxicity, naphtha, biological products.

*Ерофеевская Лариса Анатольевна*

*Научный сотрудник, ФГБУН Институт проблем нефти и газа  
Сибирского отделения Российской академии наук  
ipro@ipng.usn.ru*

*Аннотация.* Изучено влияние природных факторов на микробиоценоз мерзлотных почв Якутии. Проведен анализ биологической активности почвенных экосистем в условиях нефтяного разлива. Установлено, ведущими факторами, оказывающими влияние на биологическую активность почв и процессы её самоочищения от нефти являются температура, реакция почвенной среды, доступ кислорода воздуха, влагообмен. Установлено, что нефть подавляет развитие азотфиксирующих и целлюлозолитических микроорганизмов. Стимулирует рост гнилостных бактерий и патогенных плесневых грибов. Для сокращения сроков реабилитации нарушенных земель предпочтительно внесение биопрепаратов с одновременным посевом районированных сортов пырейника сибирского (*Elymus sibiricus*) и тимофеевки луговой (*Phleum pratense*). Показана высокая эффективность аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов к трансформации нефтепродуктов в природно-климатических условиях Крайнего Севера.

*Ключевые слова:* нефтезагрязнение, углеводородокисляющие микроорганизмы, деструкция, рекультивация, фитотоксичность, нефть, биопрепараты.

**Н**а современном этапе развития нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности, разработка эффективных и экологически безопасных методов реабилитации нарушенных земель приобретает актуальное значение. Необходимость такого рода исследований связана с участившимися за последние годы аварийными разливами нефти и нефтепродуктов (НП). Так, только за последние пять лет на территории республики произошло более 130 аварий с попаданием нефтяных загрязнений в окружающую среду.

Основными факторами отрицательного воздействия нефтяного загрязнения экосистем являются токсическое действие углеводородов нефти на биологические объекты и изменение физико-химических свойств почвы [1, С. 121–150; 2, С. 59–64.]. В результате обволакивания почвенных частиц нефтью происходит нарушение водного и воздушного режимов, нарушается почвенный гомеостаз. Развивается токсикоз и дисбактериоз почв,

что приводит к угнетению развития корневой системы растений, нарушению функций репродуктивных органов, фотосинтеза и дыхания. Возрастающий в составе гумуса нерастворимый остаток ухудшает плодородие почв. Что наносит ощутимый экономический ущерб земледелию.

В настоящее время довольно подробно изучаются процессы регенерации биоценозов на аварийных территориях, в результате деструкции нефтепродуктов (НП) аборигенными углеводородокисляющими микроорганизмами (УОМ). Апробированы биологические способы, в основу которых положены активация метаболической активности естественной микрофлоры и внесение в почву специально разработанных промышленных биопрепаратов [3, С. 391–394; 4, С. 1023–1026.].

Установлено, что вследствие длительного периода адаптации активность специально внесенных

в мерзлотные почвы популяций микроорганизмов, входящих в состав биопрепаратов, выпускаемых промышленностью, быстро снижается вплоть до их исчезновения. В результате эффективность обработки почв нефтеструктурами, не адаптированными к суровым природно-климатическим условиям Якутии становится мало эффективной или сводится к нулю.

Эти обстоятельства делают крайне востребованными научные исследования по выделению и изучению штаммов аборигенных УОМ, способных к активной деструкции нефти и НП при положительных низких температурах.

**Целью** настоящей работы являлось изучение влияния физических, геохимических и агрохимических факторов на развитие аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры и возможности её применения в процессах биологической биоремедиации и реабилитации нарушенных земель в условиях Якутии.

**Объектами для исследований** служили фоновые и нефтезагрязненные образцы почв, отобранные с аварийных территорий нефтегазового комплекса (НГК) Якутии.

Для достижения цели были поставлены задачи:

Изучить биологическую активность фоновых и нефтезагрязненных мерзлотных почв.

1. Исследовать влияние физических, геохимических и агрохимических факторов на развитие микрофлоры, участвующей в повышении почвенного плодородия.
2. Из объектов окружающей среды выделить ассоциации УОМ, пригодные для эффективной очистки нефтезагрязнённых почв при низких положительных температурах.
3. Провести лабораторно-полевые эксперименты по очистке почв от нефти биопрепаратами на основе аборигенных УОМ.
4. Определить эффективность деградации нефтяных углеводородов до, и после проведения микробиологической обработки загрязнённых почв.

#### Материалы и методы исследований

Образцы нефтезагрязнённых почв отбирали на глубине 0–10 см, 10–20 см, в некоторых точках — 40, 60, 100 см, исходя из того, чтобы каждый образец представлял собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов.

Для характеристики природного регионального фона были изучены контрольные пробы почв, не ис-

пытывающие на себе нефтяного воздействия, отобранные в удалении от загрязнённых объектов на 500 и 1000 м.

Культивирование и определение нефтеокисляющей активности УОМ осуществляли методом жидких накопительных культур в мезофильном и психрофильном режимах на минеральной среде Мюнца [5, С. 1024–1030]. В качестве источника углеводорода использовали нефть Талаканского месторождения, с содержанием 0,82% парафиновых и 12,4% смолистых веществ [6, С. 221–229].

Посевы инкубировали в термостатированных качалочных установках «УВМТ-12–250». Рост УОМ оценивали методом предельных разведений с последующим подсчётом выросших колоний.

Натурные эксперименты по самоочищению мерзлотных почв от нефти и НП проводили в условиях открытой экосистемы в опытных участках, разбитых на аварийных площадках НГК Якутии.

Контроль за процессами очистки почв от нефтезагрязнений в процессе биологической деструкции проводили, руководствуясь РД 39–0147098–90 Инструкция по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтегазпрома.

#### Экспериментальная часть

В качестве примера в настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на мерзлотной лугово-суглинистой почве в условиях Центральной Якутии.

На контрольной площадке отбора проб сделана четыре прикопки глубиной 80 см. Верхний слой почвы уплотнён, имеет обилие корней травянистых растений. На горизонте 0–10 см профиль темно-серый, легкосуглинистый, сухой, при растирании пылит. От HCl не вскипает. Горизонт 10–20 см буровато-серый, плотный, легкосуглинистый с обилием корневых волосков. От HCl не вскипает. На глубине 20–80 см светлосерый, уплотнённый, слегка влажный, среднесуглинистый, корневые волоски в незначительном количестве. Для горизонта 0–10 см характерны низкое и среднее содержание гумуса (4–8%), не высокая влажность (20–30%), средняя и слабая засоленность (0,3–2,25), тип засоленности хлоридно-сульфатный, щелочная реакция среды (7,74–8,53).

По данным геохимических исследований, выход НП перед проведением экспериментальных работ составил от 64207 до 186079 мг/кг, что соответствует очень



Таблица 1. Пейзаж выделенных культур.

Выделенная микрофлора	Нефтезагрязненные почвы				Чистые (фоновые) почвы	
	T-I	T-III	T-IV	T-V	T-VI	T-VII
	N62o01.392' E129o44.267'	N60o54.067' E132o03.060'	N60o54.063' E132o03.046'	N60o54.028' E132o03.033'	N60o54.186' E132o02.754'	N60o54.113' E132o03.434'
Micrococcus	+	+	+	+	+	+
Acinetobacter	-	+	+	-	+	+
Pseudomonas	-	+	+	-	-	-
Bacillus	+	+	+	+	+	+
Clostridium	+	+	+	+	-	-
Escherichiae	+	+	-	-	-	-
Klebsiella	+	-	+	+	+	+
Citrobacter	-	+	+	+	-	-
Proteus	+	+	+	+	-	-
Aspergillus	+	+	+	+	+	+
Penicillium	-	-	-	-	+	+
Fusarium	+	+	-	-	-	+
Candida	-	-	-	+	+	+
Actinomyces	-	-	-	-	+	+
Azotobacter	-	-	-	-	+	+
Cellulomonas	-	-	-	-	+	+

высокому уровню загрязнения. На дату постановки эксперимента (17 июня) уровень мерзлого грунта отмечен на глубине 30–38 см от поверхности.

Близкое залегание мерзлоты к органогенному горизонту, отрицательно повлияло на развитии полезной почвенной микрофлоры и задерживало начало вегетации, которая и без того в течение всего периода проведения экспериментальных работ проходила вяло.

По средним показателям температура почвенного горизонта на данной территории, в течение 3-х вегетационных сезонов, на глубине 20 см, составляла в среднем +8°C; на глубине 10 см +11 + 16°C.

Продолжительность благоприятных дней с оптимальной температурой, для развития наиболее распространенных в природе групп мезофильных УОМ, в районе исследований зафиксирована в течение 78 дней в 1 год проведения полевых работ (май — 6; июнь — 24; июль — 25; август — 23; сентябрь — 0 дней); на 2 год — также 78 дней (май — 3; июнь — 24; июль — 27; август — 18; сентябрь — 6 дней); на 3 год — 71 день (май — 5; июнь — 17; июль — 26; август — 21; сентябрь — 2 дня), что характеризует короткий вегетационный период данной местности (на юге он равен 120–130 суток), оказывающий значительное влияние на скорость микробиологических процессов и биологической активности почв.

На способность почвы поглощать солнечное тепло оказало влияние и уровень содержания влаги, который на протяжении всего периода исследований был недостаточно высоким и составлял 14–58% (на глубине 20 см), в разных точках отбора проб. Тогда, как для успешного развития большинства известных групп УОМ, оптимальная влажность почвы должна составлять не менее 60%.

Наиболее засушливым был 2-й год экспериментальных работ, когда уровень влажности на глубине 10 см был минимально 10,6% и максимально — 21,3%.

Немаловажную роль в развитии аборигенной нефтеокисляющей микрофлоры сыграл pH почвенного раствора. В то время, как оптимальным для развития УОМ и других полезных сапрофитных микроорганизмов считается pH 6,5–7,2, в почвах экспериментальных участков pH составил 7,7–8,5. Сильно щелочная среда, недостаток подвижного фосфора и других микроэлементов оказали негативное влияние на развитие многих бактерий и микроскопических грибов, участвующих в очистке почв от НП.

Учитывая влияние физических факторов, можно сделать вывод о том, что внесение в нефтезагрязненные почвы на данной территории, промышленных биопрепаратов, содержащих мезофильные группы УОМ, будет малоэффективным. Для сокращения сроков нефтеокис-

ления и достижения фоновых показателей концентрации углеводов в почвах на загрязнённой площади требуются биопрепараты, содержащие предпочтительно психрофильную или психротолерантную микрофлору, способную к метаболизму и деструкции НП при температуре +4+20°C.

Изучение изменения структуры микробного ценоза мерзлотных почв под влиянием разных агротехнических приемов (минеральные удобрения, фитомелиорация, применение сорбентов и биопрепаратов, окисляющих углеводороды нефти) устанавливали поэтапно:

- ◆ в исходной почве до проведения биоремедиации;
- ◆ в период наибольшей метаболической активности внесённых в нефтезагрязнённые почвы УОМ;
- ◆ в конце вегетационного периода.

По результатам лабораторного исследования установлено, что нефтяной разлив оказал влияние на снижение биологической активности почв и грунтов аварийной территории. Было отмечено, что нефть подавляет развитие азотфиксаторов и целлюлозолитиков. Стимулирует рост гнилостных бактерий, черной и дымчатой плесени; неферментирующих бактерий родов *Pseudomonas* и *Acinetobacter* и микрофлоры, ассимилирующей в субстрат сероводород. Микрококки и споровые бактерии хорошо размножались как в нефтезагрязнённых почвах, так и в субстратах, не испытывающих на себе нефтяного воздействия (таблица 1).

В течение первых 2-х лет после загрязнения из почв экспериментальных участков выделены энтеробактерии родов: *Escherichiae*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Proteus*. Что свидетельствует о толерантности энтеробактерий к нефтезагрязнению. Следует отметить, что эта группа микроорганизмов очень часто встречается в открытых экосистемах Якутии и является фактором, формирующим состояние здоровья населения [7, с. 38; 8, с. 39].

К началу 2-го вегетационного периода, по мере деструкции нефтезагрязнения, в почвах экспериментальных участков еще более увеличилась численность микромицетов и неферментирующих бактерий и сократилось видовое разнообразие энтеробактерий, появились целлюлозолитические грибы.

Количество нитрифицирующих бактерий, на протяжении всего вегетационного периода, было ниже на 2–3 порядка, чем в фоновых пробах, и составляла в точках T-I; T-II; T-III; T-IV не более 7000 и в точках T-V; T-VI; T-VII не более 50000 клеток на 1г абсолютно сухого веса (АСВ) почвы.

Микрофлора, потребляющая минеральные формы азота при посеве на крахмал-аммиачный агар практически не изменилась и была на одном уровне до и после проведения биорекультивации. Представители данной группы на территории нефтебазы отнесены к условным патогенам *Clostridium perfringens*, титр которых составлял 0,001–1,0 на 1 г почвы в разных контрольных точках.

Микробиологический анализ, проведенный спустя 45 суток после первого внесения в нефтезагрязнённую почву УОМ, показал сокращение численности аммонификаторов. Уменьшение их числа, после внесения биопрепаратов, вероятно, было связано с тем, что внесённая микрофлора обладала антагонистическими свойствами по отношению к гнилостным бактериям, накопившимся в почвах к началу проведения биоремедиации в результате нарушения водно-воздушного режима. Снижение численности гнилостных бактерий привело не только к сокращению количества аммонифицирующих бактерий, но также к усилению деструкции нефтепродуктов и к оздоровлению почв опытных участков.

Интенсивный рост на нефтезагрязнённом субстрате показали культуры почвенных бацилл, псевдомонад и аспергилл. Было выявлено, что на 14-е сутки биомасса бактериальных культур псевдомонад увеличивалась на 2–3 порядка по сравнению с исходной, а биомасса почвенных бацилл — на 1 порядок.

Изучение влияния рН среды на накопление биомассы показало, что оптимальной для наращивания биомассы, выделенных из почв аварийного объекта аборигенных УОМ является рН=7,0. Биомасса микроорганизмов при этом составила до 1·107КОЕ/мл. Тогда как при рН=6,0 биомасса УОМ составила до 1·104КОЕ/мл и при рН=8,0 — до 1·105КОЕ/мл.

Изучение влияния температурного режима на накопление биомассы УОМ показало, что наиболее оптимальной температурой для почвенных бацилл является +30°C, количество клеток за 7 суток роста при этом увеличилось в 100 раз, а для культуры псевдомонад +20°C, количество клеток при этом увеличилось за 7 суток в 7 раз. Лимитирующей оказалась температура ниже +7°C и выше +42°C.

В целом, лабораторно-полевые исследования показали, что УОМ, выделенные из почв нефтебазы обладают высокой активностью к нефти. Эта активность усиливается, когда в процессе проведения рекультивационных работ производится минеральная подкормка азотфосфорными удобрениями и, путём рыхления, обеспечивается в почву доступ кислорода воздуха.

До и после проведения экспериментальных работ, очищаемые от НП почвы были протестированы на фитотоксичность. Токсическое влияние биопрепаратов и нефтепродуктов на растения оценивали биотестом с помощью тест-растений: пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт «Приленская-19» и овёс обыкновенный (*Avena sativa*).

Установлено, что остаточное количество НП в почвах аварийного участка подавляло всхожесть пшеницы и овса. Наблюдалось также подавление роста корневой системы и зелёной части проростков.

Всходы семян в загрязнённых нефтью образцах составили 0–44%, тогда как в контрольных «чистых» образцах этот показатель был равен 82–96%.

После проведения 1-го этапа биоремедиационных мероприятий токсичность снизилась, всхожесть повысилась с максимального значения 44% до 80%.

С целью интенсификации процессов биодegradации нефти была проведена пробная фиторекультивация опытного участка семенами районированного сорта травянистых растений: пырейника сибирского (*Clinelymus sibiricus* L.) и тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.). Посев трав проводили из расчёта 10 г семян на 1 м<sup>2</sup> нефтезагрязнённой почвы.

Через год после проведения экспериментальных работ высота растений достигала 20–30 см. Еще через год в опытных участках был зафиксирован густой травостой высотой до 80 см. В почве сформировался зрелый дерн с хорошо развитыми, плотно переплетёнными корневищами.

Таким образом, районированные сорта пырейника сибирского (*Elymus sibiricus*) и тимофеевка луговой (*Phleum pratense*) — нефтеустойчивые и быстронакапливающие вегетативную массу растения и могут рассматриваться как потенциальные фиторемедиаторы нефтезагрязнённых почв, в природно-климатических условиях Якутии.

С целью определения изменений, которые произошли с нефтью в процессе окислительной деструкции под действием микробных сообществ, образцы почв опытных делян, до проведения биоремедиации и по окончании полевого сезона, были экстрагированы на остаточное содержание в них НП.

В результате микробиологической обработки почв, деструкция нефти составила 77,59–97,41%. В то время, как в естественных условиях деструкция нефти в контрольном участке без внесения биопрепаратов составила 6,69%.

## Выводы

1. По результатам лабораторного исследования установлено, что компоненты нефти подавляют биологическую активность мерзлотных почв. Сдерживают развитие азотфиксаторов и целлюлозолитиков. Стимулируют рост гнилостных бактерий, черной и дымчатой плесеней и микрофлоры, ассимилирующей в субстрат сероводород.

2. Углекислородокисляющие микроорганизмы, выделенные из нефтезагрязнённых почв Якутии, обладают высокой активностью к трансформации нефтепродуктов. Этот эффект усиливается, когда в процессе проведения рекультивационных работ производится минеральная подкормка в расчетных дозах и рыхление, обеспечивающие в почву доступ кислорода воздуха.

3. Установлена высокая эффективность восстановительных работ при внесении УОМ и одновременном посеве районированных травянистых растений: пырейника сибирского (*Elymus sibiricus*) и тимофеевки луговой (*Phleum pratense*). Растения проявили устойчивость к нефтезагрязнению, быстро накапливали вегетативную массу и могут рассматриваться как потенциальные фиторемедиаторы нефтезагрязнённых мерзлотных почв.

4. В результате биоремедиации почв с применением аборигенных УОМ степень дегradации загрязнения за 2 вегетационных периодов составляет до 77,59–97,41%.

5. Использованный микробиологический метод очистки нефтезагрязнённых земель в почвенно-климатических условиях Якутии имеет преимущество перед другими, так как основан на использовании местных микроорганизмов, адаптированных к существованию в почвах конкретного региона.

6. Исследования по разработке биопрепаратов на основе аборигенных УОМ, показали, что данный метод является перспективным для проведения биорекультивации нефтезагрязнённых мерзлотных почв на различных объектах нефтегазового комплекса.

Работа проведена при финансировании Государственного контракта № 611 «Разработка технологии обезвреживания разливов нефти и нефтепродуктов на основе использования местных сорбентов, активированных микроорганизмами — нефтеструктурами».

Автор выражает благодарность коллективам ОАО «Саханефтегазсбыт» и лаборатории геохимии каустобиолитов ИПНГ СО РАН за содействие в успешном проведении лабораторных и полевых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузев В. С. Роль почвенной микробиоты в рекультивации нефтезагрязненных почв / В. С. Гузев, С. В. Левин, Г. И. Селецкий и др. // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. — С. 121–150.
2. Халимов Э. М. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы / Э. М. Халимов, С. В. Левин, В. С. Гузев // Вестн. МГУ. Сер. 17. 1996. № 2. — С. 59–64.
3. Киреева Н. А., Григориади А. С., Хайбулина Е. Ф. Ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов для биоремедиации нефтезагрязненных почв // Вестник Башкирского университета, 2009. — т. 14. — № 2. — С. 391–394.
4. Киреева Н. А., Водопьянов В. В., Григориади А. С., Новоселова Е. И., Багаутдинова Г. Г., Гареева А. Р., Лобастова Е. Ю. Эффективность применения биопрепаратов для восстановления плодородия техногенно-загрязненных почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2010. — Т. 12. — № 1(4). — С. 1023–1026.
5. Керстен Д. К. Морфологические и культуральные свойства индикаторных микроорганизмов нефтегазовой съемки // Микробиология, 1963, № 5. — С. 1024–1030.
6. Зуева И. Н., Чалая О. Н., Лифшиц С. Х., Глязнецова Ю. С. Особенности загрязнения почв нефтепродуктами на объектах их хранения. Мат. Междунар. научно-практич. конф. «Прикладная экология Севера. Опыт проведенных исследований, современное состояние и перспективы». 20–21 марта 2003 г. Якутск. — 2003. — С. 221–229.
7. Ерофеевская Л. А. Санитарно-экологическая оценка почв экосистемы г. Якутска // Якутский медицинский журнал. ЯНЦ СО РАМН, 2007. — Вып.2(18). — с. 48.
8. Ерофеевская Л. А., Чернявский В. Ф., Антонов Н. А., Литвинова Л. Н. Методологический и методический подходы при микробиологических исследованиях снежных покровов в северных широтах // Якутский медицинский журнал. ЯНЦ СО РАМН, 2007. — Вып.2(18). — с. 39.

© Ерофеевская Лариса Анатольевна ( ipog@ipng.ysn.ru )

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ УЗЛОВ НА ПЛОСКОСТИ

## RESEARCH OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK WITH MULTIMODAL DISTRIBUTION NODES ON THE PLANE

*D. Okuneva*

*Summary.* In this paper I present the results of simulation of a wireless sensor network using multi-modal model of the normal distribution of nodes on the plane. Also it shows the results of the analysis of lengths of routes, depending on the distribution parameters. The studies revealed that the distribution of the lengths of the routes depends on the parameters of the distribution nodes on the territory and may also have a multi-modal character under certain conditions.

*Keywords:* wireless self-organizing network, multi-modal distribution, mixture of distributions, dispersion, mode, length of route

**Окунева Дарина Владимировна**

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
г. Санкт-Петербург  
darina\_okuneva@mail.ru

*Аннотация.* В данной работе приведены результаты имитационного моделирования беспроводной сенсорной сети с использованием модели мультимодального нормального распределения узлов на плоскости. Приводятся результаты анализа длин маршрутов, в зависимости от параметров распределения. В результате проведенных исследований выявлено, что распределение длин маршрутов зависит от параметров распределения узлов по территории и при определенных условиях также может иметь мультимодальный характер.

*Ключевые слова:* беспроводная самоорганизующаяся сеть, мультимодальное распределение, смесь распределений, дисперсия, мода, длина маршрута.

## 1. Введение

Современный этап развития общества можно охарактеризовать появлением «трендов». Понятие тренда популяризировано во всех областях жизни: в политике, экономике, моде, питании и, конечно же, в сетях связи. Тренд сетей связи — это концепция Интернета Вещей [1] (в данном случае под термином «тренд» понимается «актуальное направление, развитие»).

Основная задача Интернета Вещей — это создание единой сети, включающей в себя объекты информационного (виртуального) и физического (реального) миров, которая будет обеспечивать взаимодействие объектов между собой. Поэтому, прогнозируя дальнейшее развитие сетей связи, речь идет о десятках триллионов сетевых устройств.[2]

Реализация концепции Интернета вещей выражается в проникновении телекоммуникационных технологий во все сферы деятельности человека.

В настоящее время это выражается в расширении области применения беспроводных сенсорных сетей. [1]

Беспроводные сенсорные сети (БСС) представляют собой самоорганизующиеся сети, состоящие из множества беспроводных сенсорных узлов, распределенных в пространстве и предназначенных для мониторинга и управления характеристиками окружающей среды или объектами, расположенными в ней. [3]

Существуют различные технологии, применяемые на физическом, канальном и сетевом уровнях, которые позволяют реализовывать сети различного масштаба и управлять их конфигурацией. [4]

Структура таких сетей в значительной степени зависит от их целевого назначения и окружающей инфраструктуры. Техническая реализация элементов сети, как правило, такова, что узел сети совмещен с некоторым сенсорным или исполнительным устройством и должен устанавливаться в точке, где требуется съем информации или реализация команд управления. Таким образом, структура сети будет привязана к структуре объекта мониторинга или управления [5].

Наиболее важными характеристиками сети являются связность и время доставки сообщений. Связность сети и длины маршрутов в ней также зависят от количества узлов [6], и их взаимного расположения.

В работах [7] и [8] приведены зависимости этих параметров для случаев равномерного и нормального распределений узлов по обслуживаемой территории.

Как уже отмечалось, в практических задачах узлы сети привязаны к окружающей инфраструктуре, поэтому их распределение по территории может отличаться от рассмотренных случаев. Как правило, инфраструктура, к которой «привязана» сеть имеет некоторое количество объектов мониторинга. Поэтому, реальное распределение не всегда может быть

описано равномерным или нормальным (унимодальным) законами.

В качестве примера такой инфраструктуры можно рассмотреть здания городской застройки (рис. 1). Узлы сети размещаются преимущественно внутри зданий, там их плотность достаточно высока, вне зданий плотность узлов значительно меньше.

## 2. Мультимодальное распределение узлов БСС

Распределение узлов в реальной сети может быть неравномерным, сеть может иметь различное число областей с различной плотностью узлов. Форма и размеры этих областей могут быть различны. Для построения модели сети необходимо описать распределение узлов по обслуживаемой территории таким образом, чтобы учесть основные особенности реальной сети.

Сделаем ряд допущений. Будем полагать, что инфраструктура, которую обслуживает сеть, имеет конечное количество объектов. Эти объекты могут иметь произвольные координаты в рамках области обслуживания. Узлы сети могут быть неравномерно распределены в рамках каждого из обслуживаемых объектов. Обслуживаемые объекты могут иметь различную форму.

Для описания подобной структуры на плоскости может быть использовано мультимодальное распределение вероятности, распределение с несколькими модами или, что тоже самое, с несколькими относительными максимумами, соответствующими этим модам. [9].

Известные математические модели распределений вероятности имеют две моды (распределение Коши, арксинуса, бета распределение) и могут быть использованы лишь для ограниченного числа случаев.

В отличие от унимодальных распределений, для мультимодального распределения наиболее приемлемым вариантом является использование смеси распределений:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \xi_i p_i(x), \tag{1}$$

где

$p_i(x)$  — плотность вероятности;

$$0 \leq \xi_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n \xi_i = 1$$

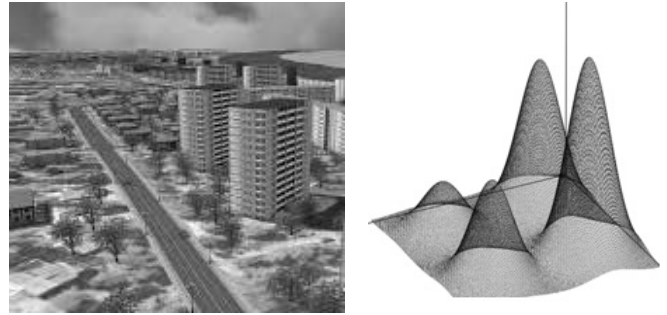


Рис 1. Пример распределения сенсорных узлов для городской инфраструктуры.

— независимые случайные величины, имеющие стандартное гауссовское (нормальное) распределение.

Задача построения такой модели заключается в выборе закона распределения, с помощью которого можно с достаточной для практических целей точностью описать реальную сеть.

В качестве распределения узлов по территории выберем мультимодальное распределение, построенное на основе двумерного нормального распределения  $f(x_1, x_2)$ . [10]

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x_1-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \rho\frac{2(x_1-\mu_1)(x_2-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(x_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right)} \tag{2}$$

где  $\rho$  — коэффициент корреляции случайных величин,  $(x_1, x_2)$  — независимые случайные координаты,  $\sigma_1, \sigma_2$  — среднеквадратические отклонения,  $\mu_1, \mu_2$  — центры рассеяния (математические ожидания).

Мультимодальное двумерное распределение для независимых случайных величин может быть получено, как

$$f_M(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^K \eta_i f(x_1, x_2, \mu_{1i}, \mu_{2i}, \sigma_{1i}, \sigma_{2i}, \rho_i), \tag{3}$$

где  $0 \leq \eta_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^K \eta_i = 1, K$  — количество мод распределения.

Количество мод, значения дисперсий по каждой из координат и коэффициентов корреляции для каждой из мод распределения позволяют получить разнообразные формы распределения, которые могут быть использованы для моделирования реальной сети (рис. 2).

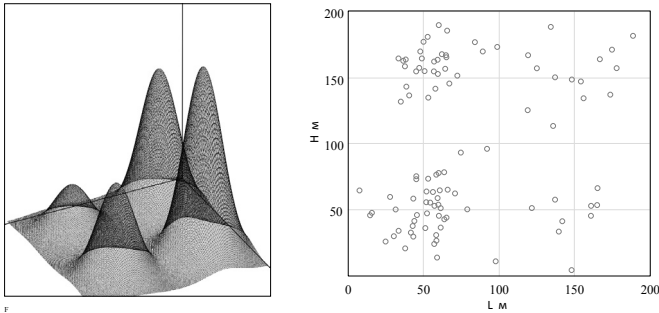


Рис.2.Плотность вероятности мультимодального (4-хмодального) распределения и соответствующее распределение узлов в области 200x200 м

### 3. Исследование зависимости длины маршрутов от мультимодального распределения узлов

Длина маршрута в сети влияет на качество обслуживания трафика, а именно на время доставки сообщений (пакетов) [8].

Средняя длина маршрута в сети, а также распределение длины маршрута позволяют характеризовать потенциальные возможности рассматриваемой структуры в части обеспечения качества обслуживания трафика. Разумеется, что средняя длина маршрута и ее распределение будет зависеть от конкретного вида мультимодального распределения и ограничений на выбор конечных узлов маршрута. В данной работе будем полагать, что конечными точками маршрута могут быть любые узлы сети связи.

Для исследования длин маршрутов используем имитационную модель, реализованную в Mathcad. Общий алгоритм моделирования приведен на рис. 3.

При моделировании используется ограниченная область обслуживания (200x200 м), вводятся величины  $n$  — количество узлов,  $R$  — радиус узла,  $K$  — количество мод распределения,  $\alpha$  — центры рассеяния (мат.ожидание),  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение,  $\rho$  — коэффициент корреляции; с помощью генератора случайных чисел генерируются случайные координаты 100 узлов согласно выбранной модели мультимодального распределения.

В модели задан радиус связи узла сети  $R$ , который равен 50 м. Согласно полученному множеству координат вычисляются расстояния между узлами. С помощью алгоритма Флойда [11], производится поиск всех кратчайших путей между узлами сети. Затем по найденным кратчайшим путям строится распре-

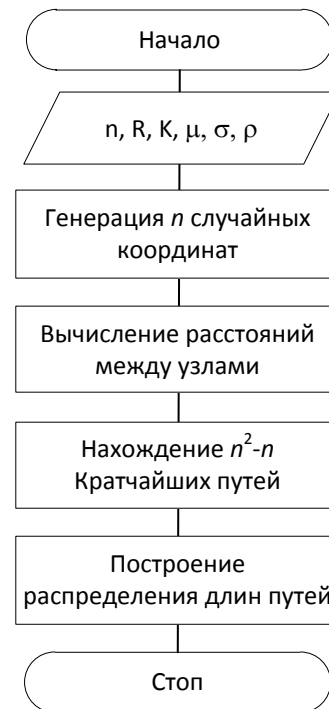


Рис. 3. Алгоритм имитационного моделирования

деление длин маршрутов (в количестве транзитов — скачков).

На рис. 4 приведено полученное в результате имитационного моделирования распределение длин маршрутов для 4-х модального распределения узлов.

На рис. 5 приведены результаты имитационного моделирования для 4-х модального распределения с координатами центров рассеяния равными (50;50), (50; 150), (150; 50), (150; 150). Среднеквадратические отклонения для всех мод одинаковы и равны 30 м.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что распределение длин маршрутов, в данном случае, близко к биномиальному распределению или распределению Пуассона.

На рис. 6 приведены результаты имитационного моделирования, полученного для тех же условий, за исключением того, что среднеквадратическое отклонение для всех мод равно 8 м.

Как видно из результатов моделирования, внешний вид данного распределения отличается от полученных ранее.

Для данного частного случая можно сделать следующие пояснения: разделив множество узлов на кла-

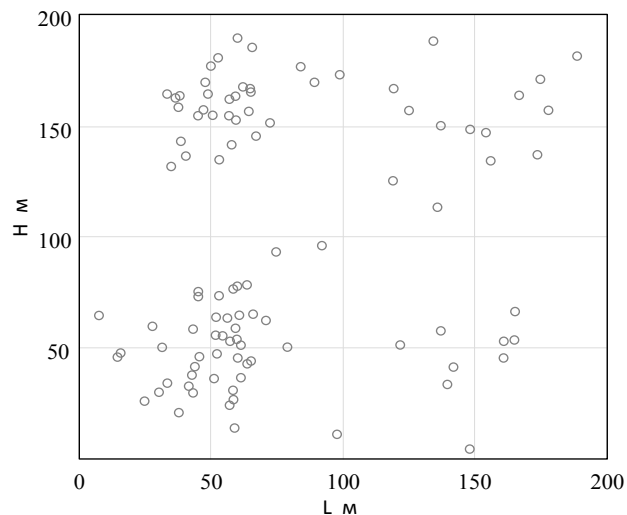
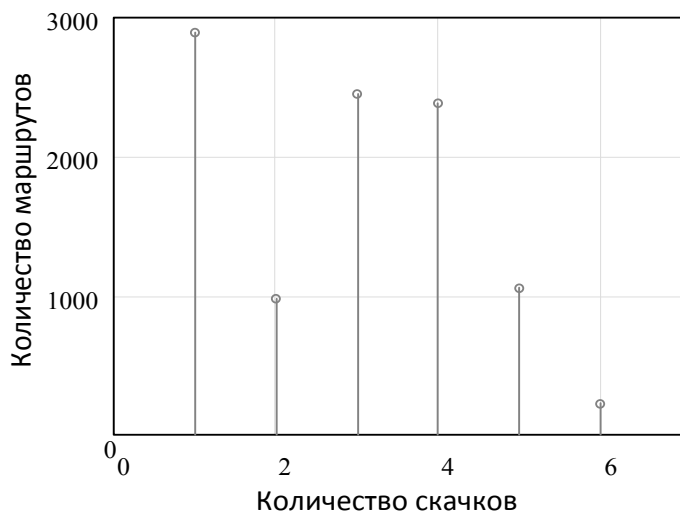


Рис. 4. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов)

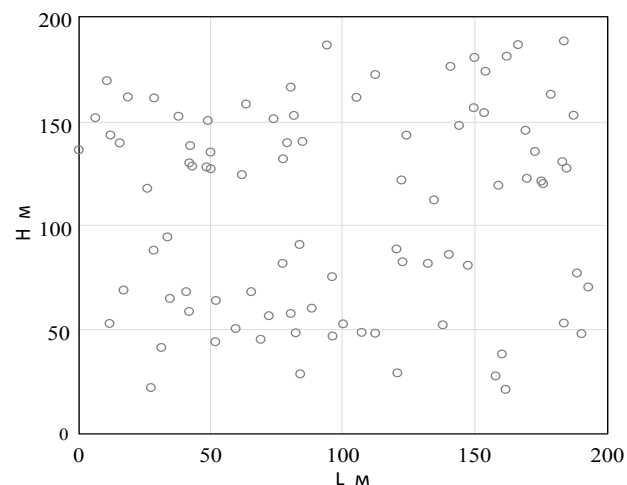
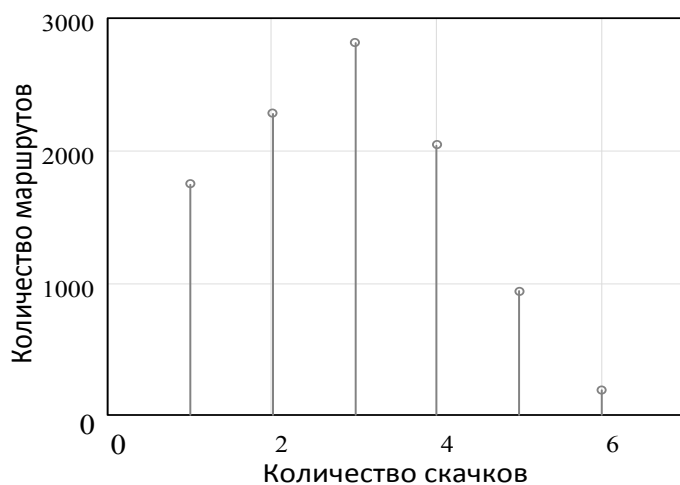


Рис.5. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов) со среднеквадратическим отклонением всех мод равным 30 м.

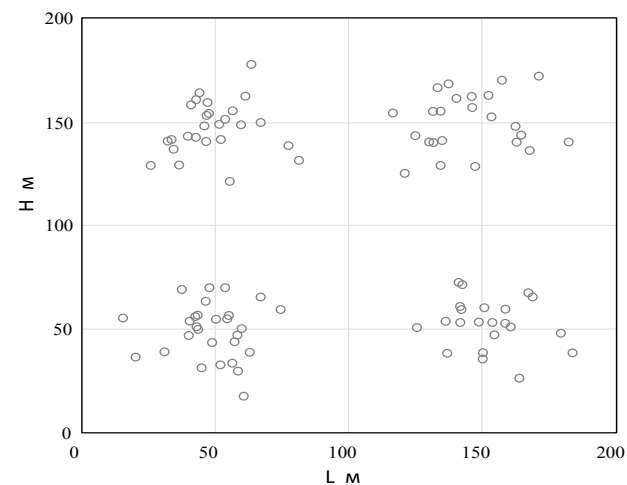
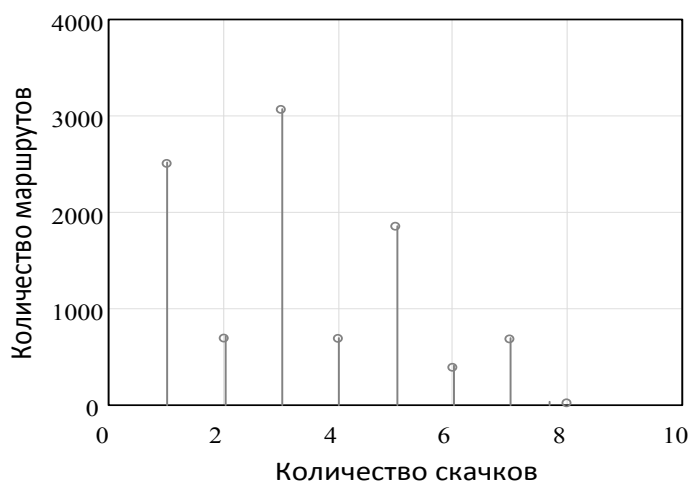


Рис. 6. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов) со среднеквадратическим отклонением всех мод равным 8 м.



стеры, в соответствии с модами распределения можно заметить, что маршруты между узлами внутри каждого из кластеров состоят из одного скачка. Маршруты между соседними кластерами могут проходить через узлы своих кластеров, а также двух соседних кластеров. В зависимости от радиуса связи узла  $R_i$  дисперсии распределения узлов, изменяется вероятность связности узлов отдельных кластеров.

### Заключение

В данной статье были исследованы и проанализированы модели БСС с мультимодальным распределением узлов на плоскости. При проведении имитационного моделирования были получены следующие результаты:

1. при относительно больших значениях дисперсии ( $\approx 2500 \text{ м}^2$ ) характер распределения узлов близок к равномерному закону, а распределение длин маршрутов близко к биномиальному распределению;

2. при средних значениях дисперсии ( $\approx 1000 \text{ м}^2$ ), которые обеспечивают связность узлов различных кластеров, распределение длин маршрутов имеет мультимодальный характер, а число мод равно числу мод распределения узлов по территории;

3. при относительно малых значениях дисперсии ( $\approx 100 \text{ м}^2$ ) количество мод распределения длин маршрутов уменьшается из-за уменьшения вероятности связности;

4. при заданных значениях среднеквадратического отклонения (8 м), распределение также является мультимодальным, причем количество мод определяется количеством связных кластеров, т.е. зависит от дисперсии распределения узлов по территории;

5. представленная модель сети позволяет определять параметры качества обслуживания для реальной сети с учетом распределения длин маршрутов при мультимодальном распределении пользователей в области обслуживания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А.. Самоорганизующиеся сети. СПб, «Любавич», 2011–311 с.
2. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост — NGN. БХВ, С.-Петербург, 2013–160 с.
3. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. Интернет Вещей. Самара: ПГУТИ, ООО «Издательство Ас Гард», 2014–340 с.
4. Окунева Д. В. Анализ связности беспроводной самоорганизующейся сети при различном распределении узлов по территории / Окунева Д. В., Бузюков Л. Б., Парамонов А. И. // Электросвязь. 2016. № 9. с. 58–62.
5. Окунева Д. В. Исследование характеристик самоорганизующейся беспроводной сети при различных способах размещения узлов / Бузюков Л. Б., Окунева Д. В., Парамонов А. И. // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. с. 28–32.
6. Nurilloev I. Connectivity Estimation In Wireless Sensor Networks / Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Т. 9870. с. 269–277.
7. Окунева Д. В. Анализ временных параметров обслуживания трафика беспроводной самоорганизующейся сети / Бузюков Л. Б., Окунева Д. В., Парамонов А. И. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 10. с. 66–75.
8. Dao N. Analysis Of Routes In The Network Based On A Swarm Of UAVS / Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A. // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Т. 376. с. 1261–1271.
9. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб. «Наука» — 2001. — 293 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Вентцель, Е.С. М.: Наука, 1969. — 576 с.
11. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. М.: Мир. 1978. — 430 с.

© Окунева Дарина Владимировна ( darina\_okuneva@mail.ru )

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА

## RAILWAY BRIDGE SIMULATION UNDER THE ENEMY'S INFLUENCE

*D. Advolotkin*

*Summary.* the article discusses the possibility of building a model train bridge double track railway station. General formulation of the modeling problem consists in finding the estimate of the expectation of the indicator of the simulated system at a given time of its operation. The simulation model allows to simulate the basic state of the double-track railway bridge, in the conditions of external influence exerted by means of the destruction of a potential enemy.

*Keywords:* AnyLogic, simulation model, railway bridge, carrying capacity, means of defeating the enemy.

**Адволоткин Дмитрий Иванович**

Научно-исследовательский испытательный центр  
(исследований направлений и перспектив развития  
специальной техники Железнодорожных войск)  
«3 Центрального научно-исследовательского  
института» Министерства обороны  
Российской Федерации, город Москва.  
advolotkin\_di@list.ru

*Аннотация.* в статье рассматривается вариант построения модели железнодорожного моста на двухпутном железнодорожном участке. Общая постановка задачи моделирования заключается в нахождении оценки математического ожидания показателя моделируемой системы при заданном времени ее функционирования. Имитационная модель позволяет моделировать: основные состояния двухпутного железнодорожного моста, в условиях внешнего воздействия оказываемого средствами разрушения вероятного противника.

*Ключевые слова:* AnyLogic, имитационная модель, железнодорожный мост, пропускная способность, средства поражения противника.

Одним из основных параметров железнодорожного направления (участка, железнодорожной линии), позволяющим оценить его функциональность, является пропускная способность [1], обычно выраженная в числе поездов или пар поездов установленной массы, которое может быть пропущено в единицу времени (сутки, часы) в зависимости от имеющихся постоянных технических средств. При этом различают наличную пропускную способность, то есть ту которой обладает участок в настоящее время, и потребную, необходимую для заданных объемов движения. Также функциональность железнодорожной линии может оцениваться по её провозной способности [1], характеризуемой возможным объемом грузовых перевозок, выражаемой в миллионах тонн за год.

Существующие методы позволяют довольно точно выполнять оценку пропускной и провозной способности железнодорожных линий с одно и многопутными участками при различных графиках организации движения, в условиях отсутствия воздействия непредвиденных внешних факторов. Решение данной задачи с учетом возможных последствий получаемых вследствие комплексного воздействия различных средств поражения (разрушения) противника либо стихийных и техногенных катастроф приобретает значительную сложность. Перечень объектов, которые могут подвергнуться разрушению и тем более параметры ожидаемых разрушений отдельных объектов рассматриваемых

участков (линий) в этом случае будут иметь случайный характер. Значения вероятности наступления данных событий сложно прогнозируемы даже для отдельных объектов, не говоря об их совокупности в границах отдельных направлений или регионов. В таких условиях задачи планирования предстоящих действий, направленных на живучесть транспортной инфраструктуры, значительно усложняются.

### Назначение модели железнодорожного моста

При планировании мероприятий направленных на обеспечение устойчивого функционирования инфраструктуры железнодорожного транспорта в границах определенного направления (участка) или региона (сети) важно иметь возможность оценивания ожидаемой эффективности их реализации, в условиях отсутствия достаточной информации о последствиях воздействия на данные объекты противоборствующей стороной.

В рассматриваемом случае показателем эффективности реализации мероприятий является численная мера степени достижения их цели. В общем случае обеспечение пропуска подвижного состава по заданному направлению редко является самоцелью. Это один из этапов обеспечения выполнения заданного объема перевозок, в директивные сроки имеющимися силами. В отношении сил обеспечивающих функциональность транспорт-

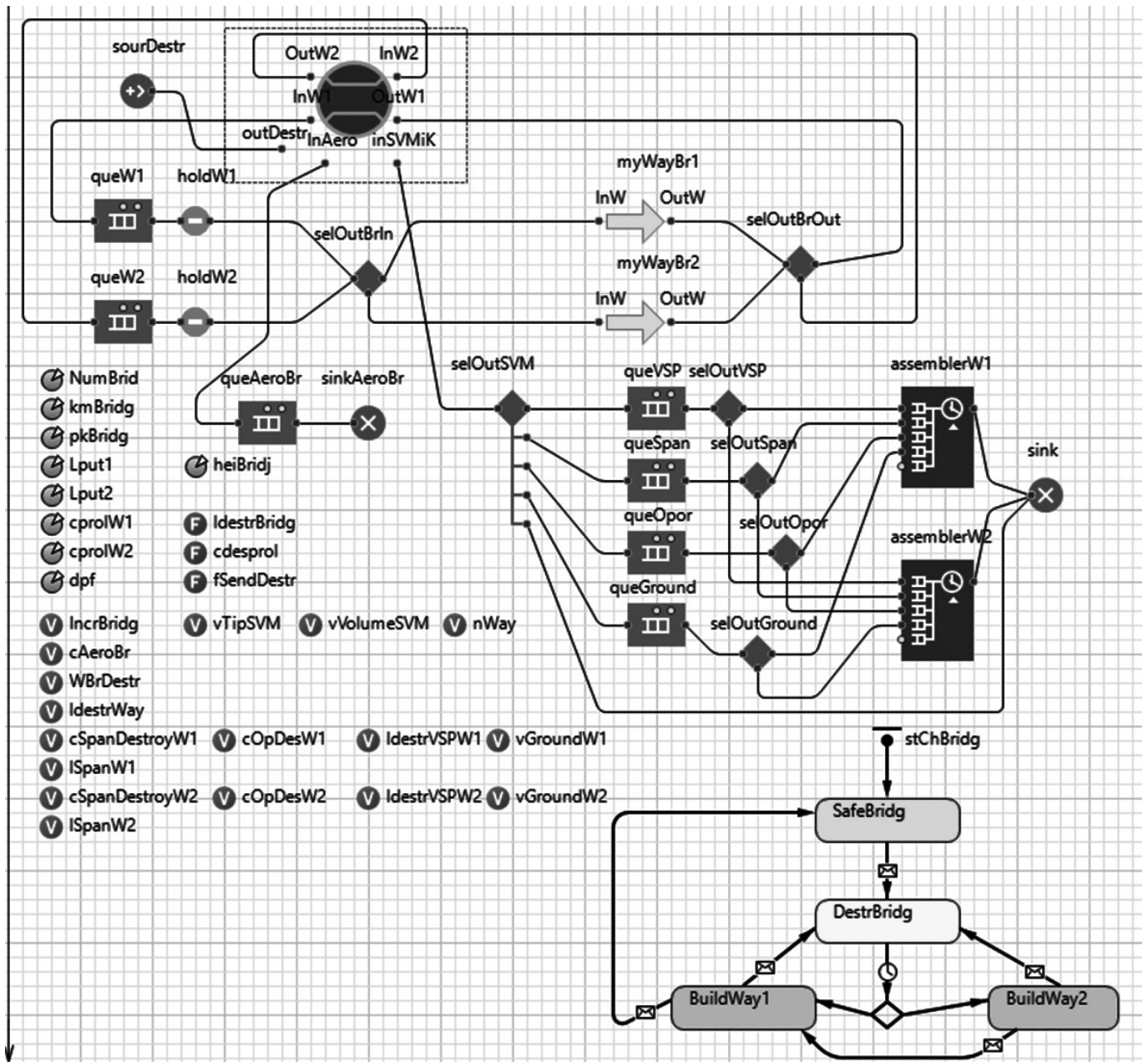


Рисунок 1а. Объект MyBridge

ной инфраструктуры такой мерой будет производиться оценка в общем случае показателя эффективности обеспечения бесперебойности (устойчивости) функционирования (обеспечения пропускания) выполняемого теми средствами, которые имеются в рассматриваемом регионе (районе). В данном случае неизбежно возникает проблема расчета численных показателей необходимых для оценивания эффекта получаемого от набора сил вызванная неопределенностью исходных данных. Решение данных задач возможно с использованием различного рода математических (расчетных) моделей. Для упрощения математической модели в качестве показателя эффективности действий по обеспечению бес-

перебойности функционирования железнодорожного направления (сети) могут использоваться параметры, характеризующие непосредственно строительно-восстановительные работы на отдельных объектах. Возможность такой замены вытекает из анализа конкретно сложившейся ситуации и осуществляется с учетом целей моделирования. Замена возможна, если в заданных условиях выполнения задачи, исследуемые альтернативы оказывают воздействие, лишь на эффективность производства строительно-восстановительных работ и не сказываются на общей эффективности организации перевозок и других мероприятий осуществляемых для обеспечения общей задачи.

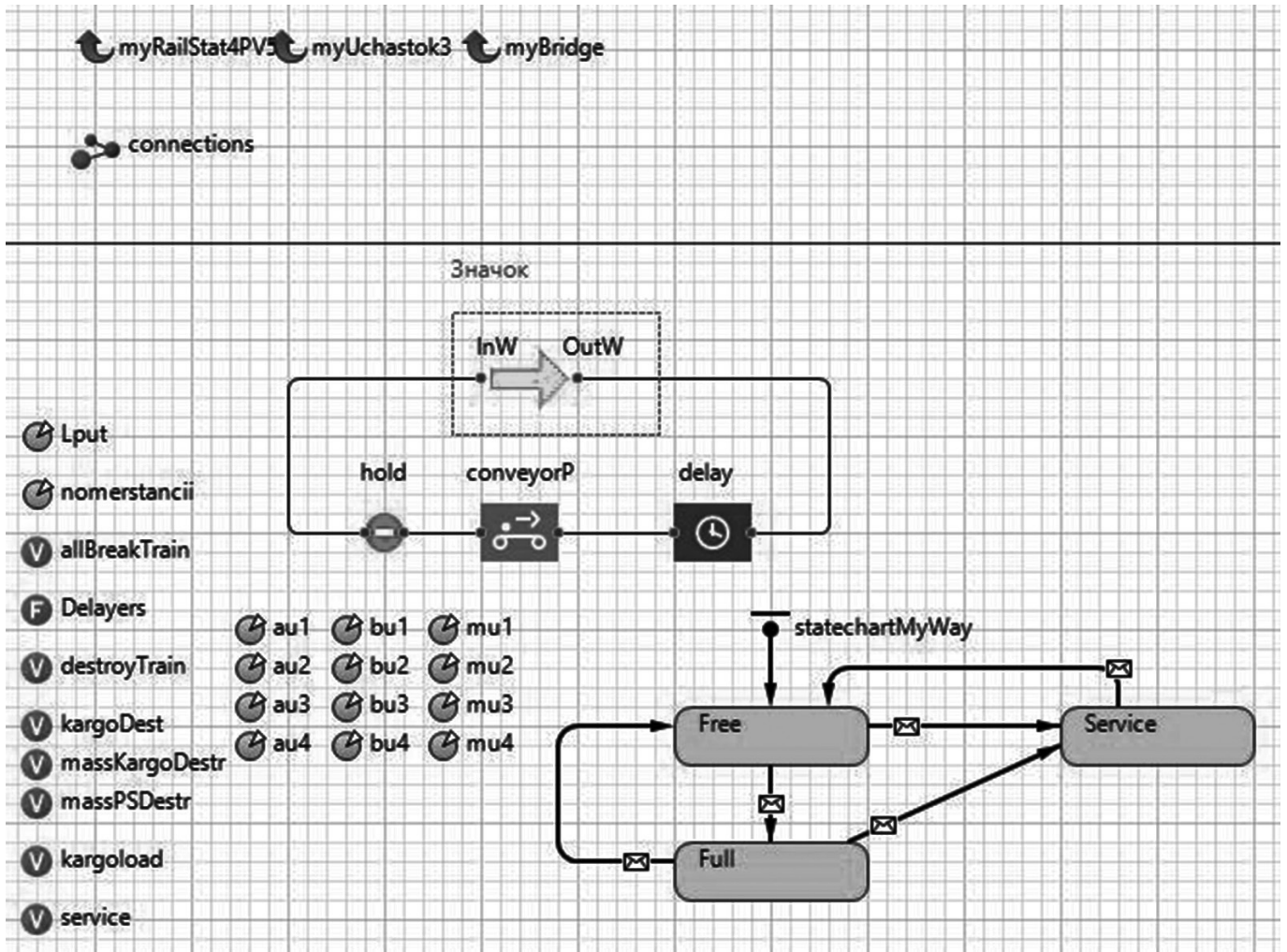


Рисунок 16. объект MyWay

В общем случае оценка эффективности действий восстановительных сил может производиться по качеству выполнения основной целевой задачи, выраженной в обеспечении заданного объема перевозок в заданных временных границах. Решение данной задачи возможно с использованием адекватных моделей, отражающих не только результаты проведения мероприятий, направленных на восстановление функциональности железнодорожной сети, но и функционирования объектов железнодорожной сети в их различных возможных состояниях с учетом воздействия внешних факторов. Одним из таких объектов является железнодорожный мост.

#### Общая постановка задачи моделирования

Рассматривается вариант построения модели двухпутного железнодорожного моста на двухпутном железнодорожном участке. Общая постановка задачи моделирования в этом случае заключается в нахожде-

нии оценки математического ожидания показателя моделируемой системы при заданном времени ее функционирования.

Железнодорожный мост обслуживает железнодорожные составы (далее составы), поступающие с двух путей, примыкающих к нему, железнодорожных перегонов (далее перегон) с интенсивностью эквивалентной экспоненциально распределенному времени между прибытиями. После обслуживания составы покидают мост по одному из двух путей, примыкающего к ней, перегона. Примыкающие к мосту перегоны способны накапливать до N составов на каждом пути. Время прохождения (обслуживания) состава через мост зависит: от интенсивности воздействия средств поражения противника, выраженной в количестве воздействий (интенсивность эквивалентна экспоненциально распределенному времени между воздействиями), количестве средств поражения применяемых в ходе одного воздействия (задается согласно дискретному равномерному

распределению для интервала), количестве взрывчатого вещества в единичном средстве поражения в тротиловом эквиваленте (задается согласно экспоненциальному распределению); от времени восстановления работоспособности железнодорожных путей моста в случае их повреждения средствами поражения противника (задается в зависимости от объема разрушений и производственных возможностей формирования ответственных за поддержание работоспособности моста).

Требуется построить имитационную модель обработки (пропуска) составов мостом для определения оценки математического ожидания количества пропущенных мостом составов, за время функционирования  $T$  (часов), и оценки математического ожидания вероятности пропуска состава за промежуток времени (далее — вероятности пропуска состава).

### Структура модели

В качестве среды построения модели был выбран инструмент имитационного моделирования AnyLogic. Так как функционирование моста можно представить как последовательность отдельных операций (прибытие, перевод на другой путь, пропуск,...) над объектами, представляющими составы, носители средств поражения, восстановителей и т.п. Для моделирования железнодорожного моста был выбран процессный (дискретно-событийный) вариант создания модели. Для реализации моделей данного типа в среде AnyLogic была использована Библиотека моделирования процессов.

При создании модели моста были созданы следующие типы агентов: MyBridge — модель железнодорожного моста; MyWay — модель железнодорожного пути; MyAgentAero2 — модель средств поражения (СП) вероятного противника; MyTrain2 — модель железнодорожного состава; MySVMiK — модель строительно-восстановительных материалов и конструкций (СВМиК).

Общий вид модели моста приведен на рисунке 1а.

Сложный объект MyBridge содержит:

- ◆ динамические параметры: NumBrid — номер моста; kmBridg — километр ж.д. участка на котором расположен мост; pkBridg — пикет ж.д. участка на котором расположен мост; Lput1, Lput2 — протяженность соответствующих путей моста в километрах; crolW1 — число пролетов моста на 1 пути; crolW2 — число пролетов моста на 2 пути; drf — значение избыточного давления во фронте ударной волны при котором конструкции моста будут разрушены; heiBridj — высота мостовых пролетов над водой;
- ◆ переменные: IncrBridg — масса взрывчатых веществ (ВВ) содержащихся в СП нацеленных

на мост (в тротиловом эквиваленте); cAeroBr — количество нацеленных на мост СП; WBrDestr — число путей разрушенных в результате воздействия СП; ldestrWay — протяженности мостовых путей разрушенных в результате воздействия СП; cSpanDestroyW1, cSpanDestroyW2 — количество пролетных строений моста разрушенных в результате воздействия СП; lSpanW1, lSpanW2 — длины разрушенных пролетных строений моста; COpDestW1, COpDestW2 — количество мостовых опор разрушенных в результате воздействия СП; lDestrVSPW1, lDestrVSPW2 — длина разрушенного верхнего строения пути (ВСП) моста; vGroundW1, vGroundW2 — объем земляных работ требуемых для восстановления работоспособности моста; vTipSVM — типы СВМиК; vVolumeSVM — объемы СВМиК; nWay — текущий номер мостового пути.

- ◆ функции: lDestrBridg — вычисляет ожидаемую протяженность разрушенного участка моста; cdesprol — вычисляет количество разрушенных пролетов моста; fsendDestr — обеспечивает создание и отправку в выходной порт uotDestr агентов типа MySVMiK.

Кроме того, в состав типа агента MyBridge включены два (по количеству моделируемых мостовых путей) агента типа MyWay, их структуру рассмотрим ниже.

Объекты типа Queue (очередь): queW1 и queW2 предназначены для накопления входящих составов в ожидании обслуживания; queAeroBr для формирования наряда средств поражения противника; queVSP, queSpan, queOpor, queGround для накопления входящих в объект агентов типа MySVMiK (имитирующих поступающие на объект строительно-восстановительные материалы и конструкции, необходимые для восстановления его работоспособности).

Объекта типа Hold (блокировки), holdW1, holdW2 для блокирования мостовых путей в случае их занятия или выхода из строя.

Объекты типа SelectOutput (выбора): SelOutBrin, SelOutBrOut для имитации работы стрелок на входе и выходе моста; SelOutVSP, SelOutSpan, SelOutOpor, SelOutGround для распределения поступающих агентов типа MySVMiK в зависимости от того какой из путей находится в «разрушенном» состоянии. Объект SelectOutput5: для распределения поступающих в модель агентов типа MySVMiK в зависимости от текущего значения их переменных.

Объекты типа порт (для организации ввода и вывода в (из) объект(а) агентов): InW1, InW2, OutW1, OutW2, для обеспечения входа в модель агентов типа MyTrain2; InAero для входа в модель агентов типа MyAgentAero2;

inSVMiK для организации входа в модель объектов типа MySVMiK; outDestr для организации вывода из модели объектов типа MySVMiK.

Объекты типа sink: sinkAeroBr для вывода из модели агентов типа MyAgentAero2 (после их воздействия на мост); sink для вывода из модели агентов типа MySVMiK (после их воздействия на мост).

Объект типа sourс для ввода в модель объектов типа MySVMiK.

Объекты типа Assembler: assemblerW1, assemblerW2 для имитации процесса восстановительных работ на мостовых путях.

Воспроизведение алгоритма изменения состояний функционирования моста в модели воспроизводится диаграммой состояний stChBridg. Диаграмма имеет четыре блока состояний связанных между собой переходами. Функционирование модели начинается с состояния «SafeBridg» оно характеризуется тем, что все пути моста находятся в исправном состоянии (мостовые пути находятся в одном из двух состояний «Free», «Full»).

Из состояния «SafeBridg» возможен переход только в состояние «DestrBridg». Переход происходит при получении диаграммой состояний сообщения «destroy», генерируемого объектом queAeroBr в случае выхода из queue агента типа MyAgentAero2. Значение переменной IncrBridg, отвечающей за учет массы тротилового эквивалента, нацеленного на данный мост, в ходе очередного воздействия средств поражения противника, изменяется при входе агентов типа MyAgentAero2 в объект queAeroBr. Наряду с определением массы взрывчатых веществ выполняется вызов функции ldestrBridg возвращающей протяженность «разрушенного», в результате данного воздействия средств поражения, участка моста. При расчетах принято, что мост расположен вдоль оси координат У, точка начала координат находится в центре моста, ширина моста зависит от числа путей.

Определение протяженности разрушения мостовых конструкций выполняется исходя из анализа расположения радиуса зоны избыточного давления, создаваемой при подрыве эквивалента взрывчатого вещества в конкретном, нацеленном в данном случае на мост, средстве поражения противника, относительно конструкций моста. Расчеты выполняются в соответствии с [2,3].

В случае если конструкции моста оказываются «повреждены» в результате воздействия средств поражения, диаграмма состояний переходит в состояние «DestrBridg» при этом выполняется процедура определения объемов разрушения мостовых конструкций. При выполнении данной процедуры вызываются функции cdesprol

и fSendDestr. Функция cdesprol рассчитывает ожидаемое количество разрушенных мостовых пролетов для каждого из путей, функция fSendDestr активирует формирование агентов типа MySVMiK со значениями переменных соответствующих объемам «разрушений» полученных мостом.

В зависимости от количества «разрушенных» мостовых путей объекты holdW1 и holdW2 переводятся в состояние block, объектам myWayBr1 и myWayBr2 отправляется сообщение «break» которое переводит их в состояние «Service». Значок объекта MyBridge окрашивается в желтый («разрушен» один путь) или красный («разрушено» два пути) цвет.

Из состояния «DestrBridg» происходит переход в одно из состояний «BildWay1» или «BildWay2». Выбор одного из данных состояний происходит в зависимости от значения переменной WBrDestr, которое задается исходя из количества «разрушенных» мостовых путей. Значение данной переменной задается при выполнении процедуры определения объемов разрушения. При этом когда объект MyBridge находится в состоянии «BildWay2», пропуск через него агентов типа MyTrain2 невозможен. Если объект MyBridge находится в состоянии «BildWay1» пропуск агентов типа MyTrain2 возможен в обоих направлениях т.е. из порта InW1 в порт outW1 и из порта inW2 в порт outW2 но пропуск агентов происходит поочередно через тот объект myWayBr1 или myWayBr2 который находится в состоянии «Free».

Из состояния «BildWay2» возможен переход в состояние «DestrBridg» при получении сообщения «destroy», генерируемого объектом queAeroBr или состояние «BildWay1» при получении сообщения «Safe2» которое генерируется объектом assemblerW1. При переходе в состояние «BildWay1» выполняются операции перевода объектов holdW2, holdW2 в состояние unblock. Через объект MyBridge возможен пропуск агентов типа MyTrain2 в обоих направлениях т.е. из порта InW1 в порт outW1 и из порта inW2 в порт outW2 но пропуск агентов происходит поочередно через тот объект myWayBr1 или myWayBr2 который находится в состоянии «Free». Цвет значка объекта MyBridge меняется с красного на желтый.

Из состояния «BildWay1» возможен переход в состояние «DestrBridg» при получении сообщения «destroy», генерируемого объектом queAeroBr или состояние «SafeBridg» при получении сообщения «Safe1» которое генерируется объектом assemblerW2. При переходе в состояние «SafeBridg» через объект MyBridge становится возможен пропуск агентов типа MyTrain2 в обоих направлениях одновременно. Цвет значка объекта MyBridge меняется на зеленый.

Также в состав MyBridge входят объекты типа myWayBr1, myWayBr2 относящиеся к типу MyWay пред-

назначенные для имитации мостовых путей. Для воспроизведения алгоритма изменения состояний функционирования мостового пути в объект включена диаграмма состояний statechartMyWay.

Данная диаграмма имеет в своем составе три блока состояний связанных между собой переходами. В самом начале функционирования объект находится в состоянии «Free». Данное состояние характеризуется тем, что объект hold находится в состоянии «unblock», значок пути окрашен в зеленый цвет. Из состояния «Free» возможен переход в состояния «Full» и «Service». Эти переходы осуществляются при получении соответствующих сообщений: «full» и «break». Переход в состояние «Full» происходит, в том случае если в объекте MyWay находится агент типа MyTrain2. Данное состояние отвечает за имитацию состояния станционного пути занятого подвижным составом. Инициатором перевода в это состояние выступает объект conveyorP, при поступлении в него агента типа MyTrain2. При переходе в состояние «Full» выполняется перевод объекта hold в состояние block. Значок объекта меняет свой цвет на желтый и вход в него блокируется.

Из данного состояния возможен переход в состояния «Free» и «Service». Переходы происходят при получении сообщений «free» и «break». Переход в состояние «Free» активируется агентом delay после истечения временной паузы продолжительность которой определяется функцией Delayers(agent) параметром в которой является агент типа MyTrain2 находящийся в данный момент времени в объекте delay. Переход в состояние «Service» происходит при получении сообщения «break» которое генерируется диаграммой состояний stChBridg объекта MyBridge. При этом производится увеличение на единицу переменной allBreakTrain, что позволяет вести подсчет «уничтоженных» при воздействии средствами поражения противника поездов. Переменная destroyTrain принимает значение true, что в свою очередь позволяет учесть наличие подвижного состава на путях моста во время их разрушения для более точного расчета объемов разрушений. При этом, как и в случае с состоянием «Full» вход в объект блокируется, и значок объекта окрашивается в красный цвет. Переход в состояние «Free» возможен из состояний «Service» и «Full».

Общий вид объекта MyWay представлен на рисунке 1б.

Кроме того в состав модели входят:

- ◆ агенты типа MyAgentAero2 содержащие набор переменных для хранения значений определяющих массу ВВ (тонн, в тротиловом эквиваленте) и типа СП;
- ◆ агенты типа MyTrain2 содержат переменные для хранения: номера станции назначения (выгрузки); массы и типа перевозимого груза; номера пути по которому состав прибывает в объект.
- ◆ статические параметры: для регистрации времени начала простоя «составов» внутри объекта; регистрации значения окончания ожидания обслуживания «составов» в модели; регистрации времени входа «состава» в модель; регистрации времени выхода «состава» из модели.
- ◆ агенты типа MySVMiK содержат набор переменных для хранения: типа СВМик; объема СВМик; номера объекта; номера пути.

Предложенная структура модели позволяет воспроизводить логику функционирования двухпутного железнодорожного моста расположенного на двухпутном участке пути. При его функционировании в условиях воздействия средств поражения противника. При этом фактически моделируется нахождение каждого из мостовых путей в одном из возможных состояний: исправен и свободен; исправен и занят; выведен из строя и свободен; выведен из строя и занят. Переход модели в состояния происходит случайным образом в соответствии с вероятностными распределениями, определяющими поступление агентов типов MyAgentAero2 и MyTrain2 в модель и временных задержек реакции моделируемой системы на них, что позволяет учесть вероятностный характер функционирования моделируемой системы.

Накопление в объекте типа «данные гистограммы» waitTimeIn статистической информации по времени «обслуживания» объектов типа MyTrain2 позволяет произвести оценку математического ожидания показателей моделируемой системы при заданном времени ее функционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. И. Ефименко, М. М. Уздин, В. И. Ковалев и др.; Общий курс железных дорог: Учеб. Пособие для студ. Учреждений сред. Проф. Образования/ Москва: Издательский центр «Академия», 2005. — 256 с.
2. Приложение N3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 года N96
3. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Аналитическая геометрия. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 240с.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НА ОСНОВЕ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

## USING NEURAL NETWORKS WITH DEEP LEARNING TO PREDICT AND ASSESS THE ULTIMATE RESOURCE STRUCTURES OF BUILDINGS

**D. Akimov**  
**V. Kotelnikov**  
**D. Skoseleva**  
**A. Dyatchenkova**

*Summary.* The task of prediction of a limit resource of constructions of steel concrete constructions on the basis of neural networks is considered. The analysis of results of application of a convolution neural network for prediction and assessment of a limit resource is carried out.

*Keywords:* limit resource, assessment of constructions, depth training, convolution neural networks, Kendall's correlation, deep learning.

**Акимов Дмитрий Александрович**

К.т.н.

**Котельников Владимир Владимирович**

К.т.н.

**Скоселева Дарья Александровна**

Аспирант

**Дятченкова Анастасия Юрьевна**

Аспирант (Москва)

darina.skipskay@gmail.com

*Аннотация.* Рассмотрена задача прогнозирования предельного ресурса конструкций железобетонных сооружений на основе нейронных сетей. Проведен анализ результатов применения сверточной нейронной сети для прогнозирования и оценки предельного ресурса.

*Ключевые слова:* предельный ресурс, оценка конструкций, глубинное обучение, свёрточные нейронные сети, корреляция Кендалла, deep learning.

## Введение

**П**рогнозирование технического состояния конструкций, очень важный инструмент оценки остаточного ресурса конструкций. Как правило, оценка основывается на данных инструментальных измерений и описании визуального осмотра дефектов и состояния элементов конструкций. Контроль объектов может быть осуществлён с помощью различных инструментальных средств и методов основанных, на различных физических принципах: мониторинг влажности, радиоактивности, акустической и ультразвуковой дефектоскопии, и визуального контроля. Современный уровень развития технологии в области полупроводниковых компонентов позволяет создавать системы мониторинга, в которых обработка информации происходит по принципам самоорганизации и распределённых вычислений с помощью, так называемых интеллектуальных датчиков [3], которые взаимодействуют между собой, используя методы обработки информации, основанные на моделях интеллектуального мониторинга [4]. Такие интеллектуальные датчики принято называть сенсорными узлами. Подобная технология объединения маломощных беспроводных сенсорных узлов получила название беспроводных сенсорных сетей (БСС) [5], а основанные на этом принципе системы мониторинга принято называть беспроводными многоячейстыми системами мониторинга (БМСМ).

Подобные технологии измерения предоставляют много данных, однако в сыром виде такое количество

данных почти бесполезно. Для автоматизированного анализа необходимо применить интеллектуальные методы, среди которых сейчас выделяются своей эффективностью нейронные сети.

### 1. Формализация постановки задачи оценки и прогноза

Уровень повреждений и деформаций, при исследовании конструкций сложной формы, состоящей из множества узлов, имеет плохую степень формализации. При реальном обследовании измерения делаются только на части конструкции, поэтому определить причины достаточно сложно, на данный момент осуществляется только анализ существующих дефектов и делаются рекомендации по укреплению конструкций на основе экспертного мнения специалиста. Однако такой подход плох тем, что зависит от опыта конкретного человека или группы, а в ряде случаев осуществляется неправильная интерпретация результатов измерений и невозможно оценить полную картину, так как при аналитической работе человека упускаются возможные связи между данными.

### 2. Метод прогноза с помощью свёрточной нейронной сети

Для того что бы найти регрессию между прогнозируемым и текущем состоянием необходимо рассмотреть текущее состояние как вектор предикторов состояния дефектов и выбрать наиболее критичные из них.



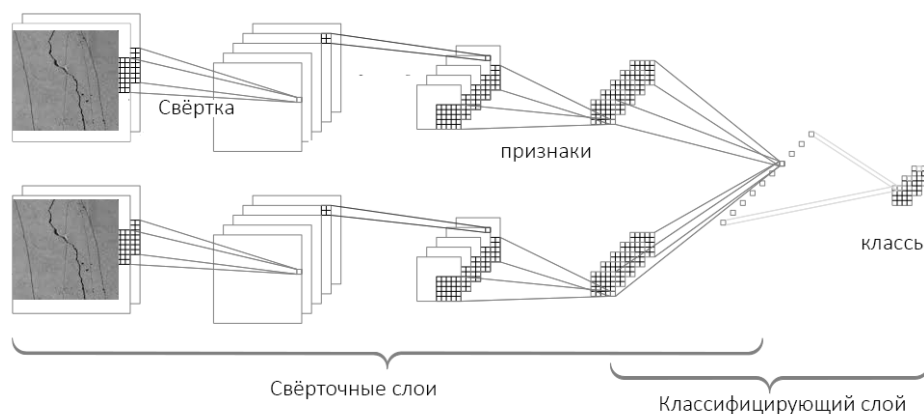


Рисунок 1. Свёрточная нейронная сеть

Классом моделей, успешно решающих задачу регрессии, являются сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network, CNN) [2]. Сверточные нейронные сети относятся к парадигме машинного обучения «deep learning», которая очень хорошо зарекомендовала на различных задачах. Принцип ее использования заключается в последовательном применении операций свертки и выбора максимального значения (max-polling [3]). Схематически сверточная модель для анализа текстовых данных изображена на рисунке 1.

Рассмотрим основные гиперпараметры всех нейросетей:

- $\alpha$  — коэффициент обучения (learning rate);
- $\lambda$  — коэффициент L2-регуляризации;
- $w$  — размер векторного представления текстового токена;
- $c$  — количество нейронов промежуточного слоя.

Чтобы получить данные о прогнозе, сверточную нейронную сеть необходимо проверить на практике, оценив возможность решать задачу прогнозирования на основе регрессии.

Свёрточные слои выделяют пространство признаков, позволяющее найти подходящую критическую причину дефекта.

Конфигурация нейронной сети с сверточными слоями:

- 1000 нейронов — входной слой,
- 128 нейронов — активация ReLU,
- 192 нейронов — активация ReLU,
- 128 нейронов — активация ReLU,
- 48 нейронов — активация ReLU,
- 7 нейронов — активация softmax.

На выходе будет вектор  $K\{k_1, \dots, k_n\}$ , коэффициенты  $k_n$  — вес прогнозного состояния, являются результатом работы нейронной сети.

Новые входные параметры нейронной сети образуют новые признаковые пространства в сверточном слое. На каждом уровне представлены абстрактные признаки конкретной причины дефекта, основанные на признаках предыдущего уровня, с более детализированным представлением. Таким образом, чем глубже мы продвигаемся, тем выше уровень абстракции. В нейронных сетях множество слоев представляет собой множество уровней с векторами признаков, которые генерируют выходные данные [1]. По результатам самообучения признакового пространства и результатом распознавания формируются новые укрупненные признаки причин дефектов.

### 3. Обучение сверточной нейронной сети

В качестве входных данных использовались замеры толщины трещин и карта их контуров, рисунок 2. Общая база содержала 650 записанных образов трещин. Для формирования обучающей и тестовой выборки образцы, соответствующие одному прогнозному образу, случайным образом были поделены на два равных подмножества.

Таким образом, и обучающая, и тестовая выборка содержала по 325 образцов трещин в виде оцифрованного изображения. Далее все образцы проходили этапы предобработки изображений трещин. Полученные матрицы признаков подавались на вход сверточной сети.

Основой для проверки правильности предсказания критериальной переменной (прогноза) от предиктора выбрана ошибка обучения:

$$E_k = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (d_i - o_i)^2,$$

где  $N$  — число выходов сети,  $d_i$  — желаемое значение  $i$ -го выхода сети для  $k$ -го эталона,  $o_i$  — реальное значение

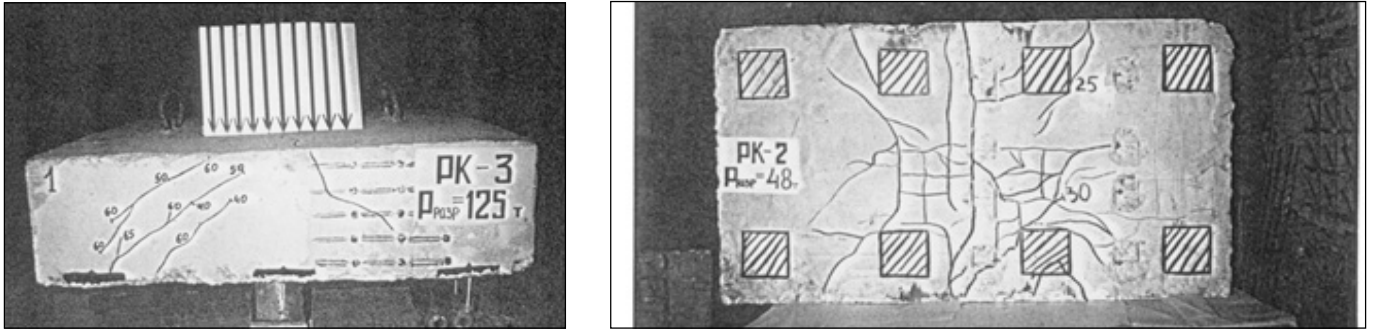


Рисунок 2. Замеры трещин и их параметризация

ние  $i$ -го выхода сети для  $k$ -го эталона. Величина  $E_k$  должна вычисляться для каждого элемента обучающей выборки. В исследовании использовался критерий величины средней ошибки при сравнении с каждым эталоном:

$$\bar{E}(n) = \frac{1}{S} \sum_{k=0}^{S-1} E_k,$$

где  $S$  — мощность обучающей выборки,  $\bar{E}(n)$  — средняя ошибка сети для  $n$ -й эпохи обучения.

Использовался метод обратного распространения ошибки. При настройках нейронной сети использовалось условие, что значение средней ошибки обучения должно быть равным 0,001. На рисунке 3 представлена зависимость ошибки обучения от эпохи.

На выходе мы получаем ранги прогнозируемых состояний. Чем больше ранг на выходе, тем вероятнее, что именно в это прогнозируемое состояние попадет конструкция с течением времени. Однако набор прогнозируемых состояний изначально задан в базе знаний экс-

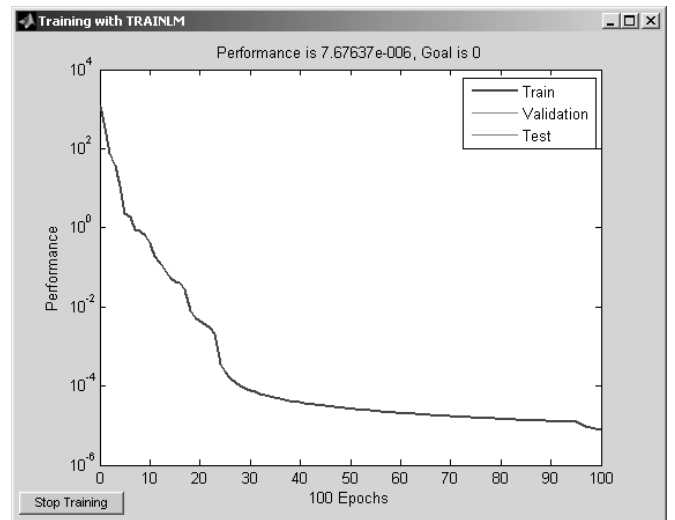


Рисунок 3. Зависимость ошибки обучения  $\bar{E}(n)$  от количества пройденных эпох.

пертным методом. При таких данных можно проверить как коррелируют экспертные оценки с оценкой нейронной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Distributed representations of words and phrases and their compositionality / T. Mikolov [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2013. — P. 3111–3119.
2. Kim, Y. Convolutional neural networks for sentence classification / Y. Kim // arXiv preprint arXiv:1408.5882. — 2014
3. Будадин О. Н., Каледин В. О., Кульков А. А., Пичугин А. Н., Нагайцева Теоретические и экспериментальные исследования возможности теплового контроля пространственной конструкции из полимерного композиционного материала в процессе одноосного силового нагружения. — Контроль. Диагностика. — № 5 (191), 2014, с. 72–81
4. Морозова Т. Ю., Бекаревич А. А., Будадин О. Н. Новый подход к идентификации дефектов материалов изделий. — Контроль. Диагностика. — № 8 (194), 2014, с. 42–48.
5. Акимов Д. А., Работкин В. Д. Терёхин И. В. Редькин О. К. Представление знаний в распределенных информационных системах промышленных предприятий. // Промышленные АСУ и контроллеры. Научтехлитиздат, 2013, № 1, С 33–38
6. Акимов Д. А., Сумкин К. С., Морозова Т. Ю. Автоматизация использования стереозрения по методам выделения управляющих воздействий и нечеткой логики. // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012». — Выпуск 4. Том 12. — Одесса: С. 60–66.

# КРАТКИЙ ОЧЕРК ЭВОЛЮЦИИ РАННИХ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

**Андрианов Александр Львович**

Соискатель, Московский финансово-промышленный  
университет  
andrianovdance@gmail.com

## A BRIEF SKETCH OF THE EVOLUTION OF THE EARLY METHODS OF LINEAR PROGRAMMING

**A. Andrianov**

*Summary.* In this paper the evolution of methods for the linear programming problem (LPP) and their influence on mathematics development is studied. The core problem, connecting many researches, was the polynomial and effective LPP solving method search. We analyze the contributions of Levin A. Y. (Levin-Newman method of central sections), Nemirovskii A. S. (ellipsoid method), L. G. Khachiyan (LPP polynomial-time solvability proof by introducing the innovational approach). The paper also considers the influence of N. Karmarkar's the author of algorithm, converging to the solution by cutting through the feasible polyhedron instead of going along its boundary, as well as the contributions of Levin L. A., who investigated the universal problems, complexity and reducibility.

*Keywords:* Linear programming, optimization, Levin-Newman method of central sections, ellipsoid method, polynomial-time solvability, Levin, Nemirovskii, Khachiyan, Karmarkar.

*Аннотация.* статья изучает эволюцию алгоритмов решения задач линейного программирования (ЗЛП), и их влияния на развития математики. Центральная проблема, связующая исследования, — поиск полиномиального и эффективного метода решения ЗЛП. Анализируется вклад Левина А. Ю. (метод центрированных сечений Левина-Ньюмана), Немировского А. С. (метод описанных эллипсоидов), Хачияна Л. Г. (доказательство полиномиальной разрешимости ЗЛП на основании нового подхода). Показано значение работы Кармаркара Н., автора алгоритма, сходящегося к решению не по границе допустимого множества, а сквозь многогранник. Проанализирован вклад Левина Л. А., изучавшего универсальные задачи, сложность и сводимость комбинаторных проблем.

*Ключевые слова:* Линейное программирование, оптимизация, метод центрированных сечений Левина-Ньюмана, метод эллипсоидов, полиномиальная разрешимость, Левин, Немировский, Хачиян, Кармаркар.

**Р**азвитие линейного программирования (ЛП) началось и проходило параллельными курсами в СССР (в работах Л. В. Канторовича) и на Западе (в трудах Дж. Б. Данцига) и имело множество сходных моментов. Оба автора имели близкие взгляды на математику. Одна из известных фраз Данцига, написанная им в предисловии к его знаменитой книге 1963 года — «*Линейное программирование, его применение и обобщения*» звучит так: «*Решающая проверка для теории — её способность решать те задачи, которые породили её*». Точно также один из творческих принципов Петербургской–Ленинградской школы можно выразить фразой «...нет ничего практичнее хорошей теории». Леонид Витальевич, будучи её ярким представителем, подчёркивал: «...для моей деятельности характерным является постоянное взаимопроникновение теории и практики». В соответствии с этим, в обоих случаях толчком к развитию ЛП стали конкретные задачи, продиктованных практикой. При исследованиях внимание уделялось именно практической направленности результатов, их внедрению в приложения и развитию реально применимых алгоритмов, что прекрасно иллюстрирует цитата из той же книги Данцига: «Точка зрения этой работы конструктивна. Она отражает начало теории достаточно мощной для того, чтобы справиться с некоторыми из сложных

задач по принятию решений, для которых она была создана» [1–4].

Само рассмотрение задачи с ограничениями типа неравенств уже стало новаторским (Лагранж, разработав правило множителей Лагранжа, изучал исключительно задачи с равенствами, причём только гладкие). Для общего случая выпуклой экстремальной задачи с неравенствами необходимое условие получил В. Каруш (*William Karush*), 1939 год, защитивший диссертацию в Чикаго. Однако, диссертация не была опубликована и осталась неизвестной. Позже необходимые условия получили Х. У. Кун (*H. W. Kuhn*) и А. У. Таккер (*A. W. Tucker*).

Помимо создания метода разрешающих множителей и симплекс метода (СМ), одним из важнейших достижений Канторовича и Данцига стало открытие ими огромного количества экономических задач, которые описываются ЛП, и осознание экономической интерпретации двойственной задачи (множители Лагранжа прямой задачи являются оптимальным решением для двойственной и наоборот). Также выяснилось: эта же математическая модель, кроме экономической, описывает также задачу управления. Большое практическое значение данных задач способствовало тому, что цен-

тральной проблемой стало изучение не только теоретического, но и практического решения данных вопросов и, в первую очередь, — развитие и исследование соответствующих алгоритмов. Данная статья касается преимущественно именно алгоритмов, разработанных для решения задач ЛП (ЗЛП), а также их влияния на развития математики в целом.

1. Левин Анатолий Юрьевич (1936–2007)

Один из замечательных результатов был получен А.Ю. Левиным, придумавшим в 1965 году метод центрированных сечений [5], который применим для поиска минимума не только линейной, но и произвольной выпуклой функции. Основной механизм работы его алгоритма таков ([6, с. 78–79]). Пусть нам необходимо решить общую проблему выпуклой конечномерной оптимизации: найти минимум выпуклой дифференцируемой функции  $f$  на выпуклом конечномерном компактном теле  $A \subset \mathbb{R}^d$ :  $f(x) \rightarrow \min, x \in A$ .

А.Ю. Левин и Д. Ньюман независимо придумали алгоритм на основе теоремы Грюнбаума-Хаммера. В соответствии с ней: если через центр тяжести выпуклого тела  $B$  в  $k$ -мерном пространстве провести гиперплоскость, она разделит его на множества, объём любого из которых будет не более  $(1 - \frac{1}{e})$  объёма  $B$ .

Алгоритм, известный как *метод центрированных сечений*, заключается в следующем. Обозначим  $B$  как  $B_0$  и найдем его центр тяжести:  $x_1 = gr B_0$ . Далее найдём  $f'(x_1)$ . В случае, когда это — нулевой вектор, мы нашли решение. В противном случае отбросим ту часть  $B_0$ , которая попала в полупространство  $\Pi'_0 = \{x: \langle f'(x_1), x - x_1 \rangle > 0\}$ , поскольку в силу того, что  $f$  — гладкая и выпуклая,  $f(x) - f(\xi) \geq \langle x - \xi, f'(\xi) \rangle$ , откуда для  $x \in B_0 \cap \Pi'_0$  очевидно, что  $f(x) > f(x_1) \geq \min f$ . После того, как мы отбросим  $B \cap \Pi'_0$ , назовём оставшееся множество  $B_1$  и произведём с ним те же действия. Продолжив действовать таким методом, построим последовательность множеств  $B_0, B_1, B_2, \dots$  и их центров тяжести  $x_1, x_2, x_3, \dots$ . На каждой итерации будем выбирать  $y_i$  из  $\{x_1, \dots, x_i\}$ , где значение  $f$  не больше каждого из  $\{f(x_j), 1 \leq j \leq i\}$ . Можно показать сходимость  $f(y_i)$  к значению задачи со скоростью геометрической прогрессии.

Основная проблема данного алгоритма заключается в том, что поиск центра тяжести — сам по себе является трудной задачей. Именно это препятствовало его применению на практике. Тем не менее, основная концепция алгоритма нашла дальнейшее применение и привела к созданию методов, получивших широкое промышленное применение, о чём речь пойдет далее (кроме того,

17-ю годами позже была показана полиномиальная скорость данного алгоритма в ЗЛП [7].

2. Немировский Аркадий Семенович.

Следующий краеугольный камень был заложен Немировским, который после защиты кандидатской диссертации попал в теоретический отдел одного московского института. Начальником отдела был профессор Д.Б. Юдин, который предложил ему исследовать «сложность задач математического программирования». Дмитрий Юдин обладал светлой интуицией, и именно он ставил эти задачи: в частности, задачу Левину, через Красносельского, поставил именно Юдин, а потом он предложил решать ту же самую задачу Немировскому. Однако, Немировский вёл свои исследования совершенно независимо от Левина и, более того, даже не знал о существовании работ последнего в этой области. В результате он пришёл к до некоторой степени близкому методу (в определённом смысле — некоторому варианту метода отсечения), получившему название «метод описанных эллипсоидов» [8–10]. В основе этого метода лежат две идеи. Первая из них — уже описанная идея отсечения. Вторая базируется на интересном наблюдении: существует *Löwner ellipsoid*  $E(K)$  — единственный эллипсоид наименьшего объёма, содержащим данное выпуклое тело  $K$  в своей внутренности. В частности, имеет место замечательный факт: *половину эллипсоида можно поместить в эллипсоид объёма меньшего, чем изначальный эллипсоид, причем центр нового эллипсоида ищется по полуэллипсоиду за порядка  $d^2$  операций*. Так, если  $K$  — половина эллипсоида  $K = E \cap H$ , где  $E = \{x \mid (x - z)^T Q^{-1} (x - z) \leq 1\}$ ,  $H = \{x \mid a^T (x - z) \leq 0\}$  и  $z$  обозначает центр  $E$ , тогда  $E(K) = \{x \mid (x - z)^T \bar{Q}^{-1} (x - \bar{z}) \leq 1\}$  может быть описан простой формулой:

$$\bar{z} = z - \frac{1}{n+1} Q \bar{a} \quad \text{и} \quad \bar{Q} = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left( Q - \frac{2}{n+1} Q \bar{a} \bar{a}^T Q \right), \quad \text{где}$$

$\bar{a} = a / \sqrt{a^T Q a}$ ,  $n$  — размерность. И, кроме того, можно показать, что  $vol(E(K)) / vol(E) \leq e^{-1/2n}$ . Таким образом, объём убывает в геометрической прогрессии с коэффициентом строго меньше единицы и зависит исключительно от размерности, а не каких-либо других параметров решаемой задачи.

Метод действует так [6, с. 79–80]: если перед нами опять стоит та же, что и в предыдущем пункте задача, то опишем вокруг  $B$  эллипсоид  $E_0$ . В случае, когда его центр  $x_0$  лежит вне  $B$ , проведём через него гиперплоскость, не пересекающуюся с  $B$ , и отбросим полуэллипсоид, не пересекающийся с  $B$ . В случае же, когда  $x_0 \in B$ , найдём  $f'(x_0)$  и сделаем отсечение согласно методу Левина-Ньюмана. В результате, у нас будет полу-эллипсоид, который назовем  $E'_0$ . И здесь мы, воспользовавшись вышеупомянутым фактом, опишем вокруг  $E'_0$  эллипсоид

меньшего объёма, чем был у  $E_0$ , и назовём его  $E_1$ . Повторяя данную последовательность операций, получим сходящуюся со скоростью геометрической прогрессии последовательность. На каждом шаге объём эллипсоидов в последовательности  $\{E_0, E_1, E_2, \dots\}$  будет уменьшаться в зависимости от размерности пространства в

$$\frac{k^k}{(k-1)^{\frac{k-1}{2}} (k+1)^{\frac{k+1}{2}}} < 1$$

раз для любого натурального  $k \geq 2$ .

Э. Хачиян Леонид Генрихович  
(1952–2005)

После того как эти результаты Немировского были опубликованы, Л.Г. Хачиян, работавший в Вычислительном центре АН СССР, показал, что на основании метода эллипсоидов можно доказать полиномиальную разрешимость ЗЛП. Этот результат впервые появился в Докладах АН СССР в феврале 1979 [10]. Более подробное описание деталей данного открытия, несомненно, заслуживает внимания.

Чтобы прочувствовать значение сделанного Хачияном открытия и понять, почему к этому событию было приковано такое внимание, опишем кратко положение, сложившееся к тому моменту в этой области. ЛП стало широко применяться после того, как был заложен его алгоритмический и теоретический фундамент: некоторые экономические приложения существовали ещё со времени первой работы Канторовича (1939) на эту тему, в 1947 году Данциг создал СМ, а Фон Нейман (*von Neumann*) теорему двойственности. В 50-е годы альтернативные алгоритмы, преимущественно итеративные методы на базе фиктивной игры двух лиц, бросили вызов СМ, но метод отстоял своё доминирующее положение и оставался основным методом решения в 50-е и 60-е годы. Несмотря на ошеломительный триумф СМ в приложениях, его эффективность вскоре была поставлена учёными-теоретиками под сомнение. В фокус внимания математиков попал вопрос о полиномиальности алгоритма. В результате были найдены примеры (например, в статьях В. Кли (*Victor Klee*) и Г. Минти (*George Minty*)), которые продемонстрировали, что в самом плохом варианте входных условий, СМ может демонстрировать экспоненциальную зависимость количества шагов своего исполнения от длины закодированных исходных данных. Данное обстоятельство инициировало работу теоретиков: Д.Р. Эдмондс (*Jack R. Edmonds*) в 1965 году, С. Кук (*Stephen Cook*) в 1971 году и Р.М. Карп (*Richard Manning Karp*) в 1972 году получили ряд результатов в теории сложности, которые лишь усугубили ситуацию, показав, что, несмотря на свою принадлежность к пере-

сечению классов  $NP$  и  $co-NP$ , задача разрешимости ЛП всё ещё не имела никакого алгоритма с доказанной полиномиальностью времени исполнения. Задача разрешимости ставится следующим образом: даны  $m$  линейных неравенств с  $n$  неизвестными, все с рациональными коэффициентами, надо узнать имеет ли эта система допустимое решение или она несовместна. Многие исследователи пытались найти полиномиальную версию СМ. И хотя обновлённые версии остаются высоко конкурентоспособными по сравнению с более поздними методами, базирующимися на внутренней точке, и являются неотъемлемой частью арсенала любого оптимизатора, они по-прежнему имеют экспоненциальное поведение в определённых случаях. В какой-то мере их хорошее поведение при решении реальных практических задач было объяснено разными авторами с помощью анализа ожидаемого поведения. Вопрос о полиномиальности или неполиномиальности был, в определённом смысле, центральной проблемой.

Естественно, в таком историческом контексте результат Хачияна, получившего решение применением модификации метода отсечений, и доказавшего тем самым (1979), что ЗЛП может быть решена за полиномиальное время, стал прорывом, сделав автора знаменитым почти мгновенно. Столь бурная реакция на его открытие объясняется не только самим заявленным и доказанным результатом (полиномиальность ЛП), но и тем способом, каким она была доказана. Хачиян прибёг к использованию метода эллипсоидов и аппроксимированию многогранного допустимого множества при помощи эллипсоидов. В то время было абсолютно новой идеей, которая представила совершенно необычный и, можно даже сказать, противоположный ставшему уже традиционному подходу — решение проблемы в терминах вершин, рёбер, фазы и конечной сходимости к точному решению в точной арифметике. Всем этим моментам новый подход противопоставил парадигму, в которой предлагалось в качестве отправного пункта взять гигантские сферы, а затем строить последовательно уменьшающиеся эллипсоиды до тех пор, пока один из них не станет достаточно мал для того, чтобы, округлив координаты его центра, можно было получить решение.

Как уже было сказано, для решения проблемы сложности ЗЛП Хачиян применил метод эллипсоида Немировского. По ходу дела ему пришлось преодолеть ряд сложностей: алгоритм изначально создавался для модели с действительными числами, а ему нужна была оценка расстояния до оптимального решения. Хачияну необходимо было установить некоторое количество ограничений на величины решений, объёмы многогранников, и точность, необходимую для проведения расчётов. Использование такого метода для ЛП было совершенно неочевидным. Кроме того, данная процедура решения

включает вычисление квадратного корня из рационального числа, который может быть иррациональным, что приводит к сложным проблемам при вычислениях и численном решении. Однако, Хачиян заметил: достаточно использовать вышеприведённые формулы приближенно, проводя вычисления только с точностью до  $O(nL)$  бит, где  $L$  — длина бинарного кода (подаваемого на входе вычислительного алгоритма) системы рациональных неравенств, чью согласованность мы хотим проверить. Он также показал, что если система разрешима, то она имеет решение внутри шара радиуса  $2L$  и что в случае её несовместимости минимальное отклонение в каждой точке составляет по меньшей мере  $2^{-L}$ . Исходя из этих наблюдений и геометрического уменьшения объёма, он смог показать, что центр последовательности эллипсоидов, получаемой в результате применения этого подхода, станет допустимым максимум за  $16n2^L$  итераций, если система совместима. Поскольку ранее ничего подобного в ЛП не применялось, подход мог показаться даже «диким» в условиях существования известного конечного решения через применение преобразований к матрице.

Всё это вызвало бурную реакцию в средствах массовой информации. ЛП уже имело огромное значение для промышленности, армии и бизнеса, поэтому ведущие мировые газеты стремились донести до читателей важность полученного результата. Иногда это даже приводило к курьёзным ситуациям. Так *New York Times* опубликовала статью о результатах Хачияна, в которой были так сильно преувеличены вытекающие из них последствия, что это вызвало подозрения даже у советских властей, особенно из-за сравнения результата Хачияна с «русским спутником». Хачияна даже вызвали для дачи показаний в Государственный комитет по науке и технике, где он решительно отрицал какую-либо связь своего «спутника» с космическим. О резонансе в академических кругах и говорить не стоит. Появилось множество попыток построить на новой основе метод для практического решения крупномасштабных ЗЛП. К сожалению, в целом их можно охарактеризовать как не очень успешные. Отчасти это можно объяснить тем, что алгоритм, по-видимому, требует количества итераций, близкого к худшей границе. Тем не менее, несколько исследователей (например, Мартин Грётшель (*Martin Grötschel*), Ласло Ловас (*László Lovász*) и Александр Схрейвер (*Alexander Schrijver*)) осознали потенциал метод эллипсоида для прогресса в области комбинаторной оптимизации.

Интересно, что сам Хачиян был удивлен ошеломительным эффектом своего результата и тем, что одного анонса в Докладах АН СССР о полиномиальности ЗЛП оказалось достаточно, чтобы принести ему всемирную славу. В 1982 году Международное общество математического программирования (*Mathematical Optimization*

*Society*) и Американское математическое общество (*American Mathematical Society*) наградили А. Немировского, Л. Хачияна и Д. Юдина Фалкерсоновской премией (*Fulkerson Prize*) за статьи, в которых содержались результаты, позволившие получить полиномиальный алгоритм для ЗЛП [11].

#### 4. Кармаркар Нарендра

После защиты в 1983 году диссертации на степень доктора философии (*Ph.D.*) по компьютерным наукам (*Computer Science*) под руководством Р. М. Карп в университете Беркли в Калифорнии, Кармаркар начал работать в лаборатории Белла, где в 1984 году [12] создал алгоритм, решающий ЗЛП за полиномиальное время. Предыдущие методы заключались в представлении задачи многогранником и последующем приближении к решению путём путешествия по вершинам. Алгоритма же Кармаркара идёт к решению не по границе допустимого множества, а сквозь многогранник, что значительно ускоряет решение трудоёмких задач оптимизации. Данный подход стимулировал разработку класса методов внутренней точки (целого семейства алгоритмов для решения задач линейной и нелинейной выпуклой оптимизации).

Первым такой метод для ЛП выдвинул Фон Нейман, но его алгоритм не дал ни полиномиальной теоретической границы, ни эффективности на практике, где уступал (тоже неполиномиальному) СМ. С другой стороны, как уже сказано, метод эллипсоида Хачияна был полиномиален, но оказался не эффективен практически. Если  $n$  — число неизвестных,  $L$  — число бит для кодирования входных данных, алгоритм Кармаркара [13, 14] требует  $O(n3^{5L})$  операций, а метод эллипсоида —  $O(n6^L)$ . Алгоритм Кармаркара стал первым, продемонстрировавшим существование метода с теоретической полиномиальностью и реальной эффективностью, способной превзойти СМ. Кроме того, он может быть распространён также и на выпуклое программирование.

Дополнительным вкладом стало возрождение интереса к изучению методов внутренней точки и барьеров (Ю. Нестеров и А. Немировский предложили специальный класс барьеров, применимых к любому выпуклому множеству и гарантирующих, что число итераций алгоритма ограничено полиномом от размерности и точности решения).

#### 5. Левин Леонид Анатольевич

В 1970 году Левин написал трехстраничную заметку [15], которая была опубликована лишь тремя годами позже. Чуть ранее (1971) в США вышла статья С. Кука «*The complexity of theorem proving procedures*» [15]. За ней

последовала работа другого американца Р.М. Карпа «Сводимость комбинаторных проблем» [16] со списком из 21-й  $NP$ -полной ( $NPC$ ) задачи, обратившая опять интерес к статье Кука. В СССР об этом тогда никто не подозревал, а Левин несколько по-другому смотрел на те же вопросы: изучая задачи поиска, где надо не только установить существование решения, но и найти его, он описал 6 подобных  $NPC$  задач поиска (на них ещё ссылаются как на универсальные задачи). Вместе с этим для каждой из них был найден метод решения с оптимальным временем (в частности, эти алгоритмы осуществимы за полиномиальное время тогда и только тогда, когда справедлива гипотеза о равенстве  $P$  и  $NP$ ).

Теорема Кука–Левина утверждает, что задача выполнимости булевых формул относится к классу  $NPC$ , то есть любая задача из  $NP$  может быть сведена за полиномиальное время с помощью детерминированной машины Тьюринга к задаче определения выполнимости булевой формулы. Пример такой задачи — булево высказывание, комбинирующее булевы переменные с использованием булевых операторов. Высказывание выполнимо, если существует некоторый набор значений истинности для переменных, который делает всё выражение истинным. За эти работы Кук и Карп получили премию Тьюринга. Важное следствие — если существует детерминированный полиномиальный алгоритм решения задачи выполнимости булевых формул, то существует аналогичный алгоритм решения всех  $NP$  задач, а значит, тоже самое следует для любой  $NPC$  задачи.

Данные работы стали новаторскими и определили вектор исследований, продемонстрировав универсальные задачи, из полиномиальной разрешимости ко-

торых следует полиномиальная разрешимость любой переборной задачи. К данному моменту нашли свыше 2000 подобных задач, а также технику сводимости для проверки «универсальности» любой новой задачи, которая позволяет не изучать её отдельно, а просто проверить сводится ли она к одной из уже известных задач. Фокус исследований переместился к поиску полиномиального метода решения любой универсальной задачи (в случае чего  $NP$  совпадает с  $P$ ) или доказательства её полиномиальной неразрешимости (в следствие чего универсальные задачи окажутся в классе, принадлежащем  $NP$ , но за пределами  $P$ ). Это один из главных открытых вопросов, расцениваемый ныне как важнейшая нерешенная проблема теории вычислительной сложности (за него даже назначена Премия Тысячелетия в \$1 млн).

Несмотря на то, что теория линейных неравенств могла возникнуть на заре математики (так как изучение неравенств — абсолютно естественное развитие теории СЛУ, изучение которых исчисляется тысячелетиями), произошло это сравнительно недавно. Компенсируя эту задержку, развитие теории в XX веке приняло чрезвычайно бурный характер: вслед за единичными работами XIX и первой четверти XX века, последовал огромный поток работ. В СССР долгое время в этой области работали лишь её первооткрыватель Канторович и маленькая группа его учеников. На Западе же вовлечение в новую отрасль имело неслыханный масштаб. Однако, со временем учёные СССР подхватили эстафету и внесли поистине огромный вклад в развитие направления. И, что замечательно, все они (Хачиян, Юдин, Немировский, Нестеров) получили мировое признание, что ещё раз свидетельствует о значимости их вклада.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов А. Л. Развитие линейного программирования в ранних работах Л. В. Канторовича // Историко-математические исследования. Вторая серия. Выпуск 13 (48). — М.: «Янус-К», 2009. — С. 323–339.
2. Андрианов А. Л. Л. В. Канторович как создатель линейного программирования // Вопросы истории естествознания и техники. — 2009. — № 4. — С. 77–89.
3. Andrianov A. (2011) The full Monge problem solution based on the linear programming (LP). Proceedings of the 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation, pp.94–101
4. Андрианов А. Л. Дж. Б. Данциг и линейное программирование // Казанская наука. № 8. 2014. — Казань: Изд-во Казанский Издательский Дом, 2014. С. 19–23.
5. Левин А. Ю. Об одном алгоритме минимизации выпуклой функции // ДАН СССР, 160. № 6, 1965. С. 1241–1243.
6. Магарил-Иляев Г. Г., Тихомиров В. М. Выпуклый анализ и его приложения. Издание второе. УРСС, Москва, 2003.
7. Yamnitsky V., Levin L. (1982) An old linear programming problem runs in polynomial time. 23rd Annual Symposium of Foundations of Computer Science. pp.327–328.
8. Юдин Д. Б., Немировский А. С. Оценка информационной сложности задач математического программирования // Экономика и математические методы, т. XII, вып. 1, стр. 118–142, 1976.
9. Немировский А. С., Юдин Д. Б. Методы оптимизации, адаптивные к «существенной» размерности задачи, Автомат. и телемех., 1977, выпуск 4, 75–87.
10. Khachiyan L. (1979) [A polynomial algorithm in linear programming]. Soviet Mathematics Doklady, 224 (5) pp. 1093–1096.
11. Todd M. (2005) Leonid Khachiyan, 1952–2005: An Appreciation. In «Tributes to George Dantzig and Leonid Khachiyan» // SIAG/OPT Views-and-News, vol.16, nn 1–2, October 2005, pp. 4–6.
12. Karmarkar N. (1984) A new polynomial-time algorithm for linear programming, Combinatorica 4, pp. 373–395.

13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Interior\\_point\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Interior_point_method)
14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Karmarkar%27s\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Karmarkar%27s_algorithm)
15. Левин Л. А. Универсальные задачи перебора // Проблемы передачи информации. — 1973. — Т. 9, № 3. — С. 115–116. Levin L. Universal search problems // Problems of Information Transmission, 1973, 9(3), 115–116.
16. Cook S. (1971) The Complexity of Theorem Proving Procedures. Proceedings Third Annual ACM Symposium on Theory of Computing, May 1971, pp 151–158.
17. Karp R. (1972) Reducibility among Combinatorial Problems. In Raymond E. Miller and James W. Thatcher (editors). Complexity of Computer Computations, pp. 85–103.

---

© Андрианов Александр Львович ( andrianovdance@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





# ТРЕХМЕРНАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАРТ ФИГУРНОГО РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

## THREE-DIMENSIONAL GRAVITY MODEL FOR IMPROVEMENT OF CUTTING CARDS WITHIN THE FEATURES OF LASER TECHNOLOGICAL COMPLEX

**D. Lyalin  
A. Zatonsky**

*Summary.* In this article we described an algorithm for improvement of cutting cards with a three-dimensional gravity model. Technological gaps and cutting depths depending on features of laser technological complex such as laser power, the moving speed of the cutting tool and metal properties such as thickness, density and melting point are investigated. A module for calculating the minimum technological gap provided metal cutting and extortion optimal parameters of laser technological complex is designed. Gap dependencies from laser technological complex parameters are obtained.

**Key words:** nesting of sheet materials, three-dimensional gravity model, technological gap, laser technological complex.

**Лялин Дмитрий Алексеевич**

Аспирант, ФГБОУ ВО Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет  
lyalindim@gmail.com

**Затонский Андрей Владимирович**

Д.т.н., профессор, Березниковский филиал ФГБОУ  
ВО Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет  
z Xenon@narod.ru

*Аннотация.* В работе описан алгоритм работы трехмерной гравитационной модели улучшения карт фигурного раскроя листовых материалов. Получены выражения для расчета технологического зазора и глубины разрезания, с учетом особенностей лазерного технологического комплекса, таких как мощность лазерного излучения и скорость перемещения режущего инструмента, и свойств металла, таких как толщина, температура плавления и плотность.

На основе выражений разработан модуль расчета минимального технологического зазора при условии разрезания металла и подбора оптимальных параметров лазерного технологического комплекса. Составлены модели зависимости зазора от параметров лазерного технологического комплекса.

*Ключевые слова:* фигурный раскрой листовых материалов, трехмерная гравитационная модель, технологический зазор, лазерный технологический комплекс.

**Р**аспространенным технологическим процессом в машиностроении является лазерная резка — основная операция заготовительного производства [1–2]. Широкий диапазон толщин и марок разрезаемых материалов, практически любые параметры вырезаемых заготовок позволяют изготовить заготовки различных типоразмеров и геометрической сложности. Лазерную резку металлов можно сравнить с другими методами термической резки — с газопламенной и плазменной. При лазерной резке металл расплавляется лучом лазера. Фокусирование лазерного луча осуществляется линзой, установленной в режущей головке. Резка тонких заготовок (до 2 мм) происходит за счет испарения металла. При резке более толстых заготовок для выдувания расплавленного металла из канала реза туда подается газ под давлением (обычно кислород или азот). Сфокусированное высокоэнергетическое лазерное излучение позволяет получить узкие разрезы с малой зоной термического влияния практически в любых металлах и сплавах, независимо от их теплофизических свойств. Малое термическое влияние обуславливает малое же

механическое воздействие на обрабатываемый материал, а потому деформации (временные — в процессе резки, остаточные — после полного остывания) невелики. Вследствие этого можно осуществлять лазерную резку легкодеформируемых и нежестких заготовок с высокой степенью точности и производительностью.

Качество лазерной резки характеризуется шириной реза, шероховатостью поверхности и отсутствием или наличием грат (затвердевших капель расплава на нижней кромке реза) [3]. Эти показатели зависят от мощности излучения, скорости перемещения лазерного излучателя, физико-химических свойств металла и атмосферы, окружающей зону реза. Исследованию процесса и оптимизации режимов лазерной резки при различных условиях посвящено множество работ, например [4–7]. Высокая плотность мощности лазерного луча может быть достигнута как в импульсном, так и в постоянном режиме. Пиковая мощность импульса при импульсном режиме и средняя мощность при постоянном режиме определяют глубину проникновения

лазерного луча. Высокомощные лазеры, работающие в постоянном режиме лазерного луча, предпочтительны для ровной, высокопроизводительной лазерной резки, и предпочтительны при резке материалов большой толщины. Однако при постоянном режиме лазерной резки удаление расплавленного или испаренного материала не успевает предотвратить передачу тепла в боковые поверхности разреза, из-за чего происходят дополнительный нагрев материала и ухудшение качества резки. Более низкий по энергетическому уровню импульсный режим лазерной резки предпочтителен для точной, высококачественной лазерной резки. Высокомощный короткий импульс лазерного луча обеспечивает эффективный нагрев заготовки с низким средним уровнем мощности, что, в итоге, приводит к снижению скорости обработки, но обеспечивает хорошее удаление расплава/испарения из зоны резания, снижет формирование грата. Как показывают исследования [8], при лазерной резке заготовок с острыми углами лучшее качество реза обеспечивается именно импульсным режимом. При изменении траектории резки сразу по двум координатам происходит перегрев металла в точке перехода, что может вызвать коробление металла, приводящее к браку. Для предотвращения этого предлагается на стадии формирования карты раскроя на острых углах заготовок формировать технологический зазор в форме дуги (рис. 1) с радиусом

$$r_{gap} = b_{cut} + f(\varphi), \tag{1}$$

где  $r_{gap}$  — радиус дуги,  $b_{cut}$  — ширина реза,  $f(\varphi)$  — добавочная функция, возвращающая приращение радиуса дуги в зависимости от угла заготовки, задается оператором лазерного технологического комплекса.

Для составления карт раскроя ранее была разработана двумерная гравитационная модель и ее программная реализация [9] с использованием физического игрового движка. Плоские заготовки помещаются в пространство раскраиваемого листа, затем этот лист встряхивается, поворачивается в воображаемом гравитационном поле, в соответствии с программой моделирования. Заготовки рассматриваются как абсолютно упругие тела в инерциальной системе отсчета. В процессе моделирования («утряски») они соударяются, отскакивают, поворачиваются под действием гравитационных сил и трения с другими заготовками и т.д. Это позволяет достичь более плотного размещения заготовок на листе [10], чем при использовании классических методов построения карт раскроя.

Однако метод двумерного гравитационного моделирования имеет существенный недостаток. Мелкие заготовки должны быть вручную или путем применения других алгоритмов помещены внутрь полостей крупных,

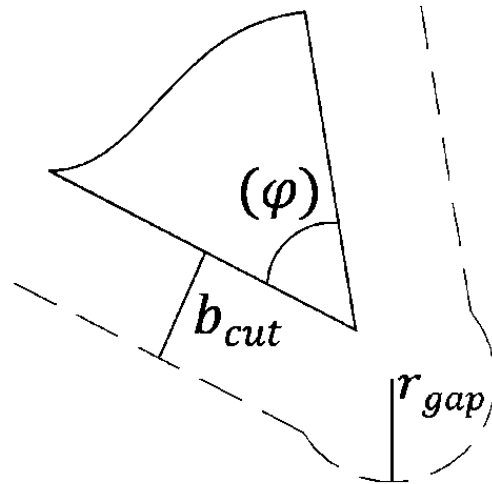


Рисунок 1.  
Формирование технологического зазора для острого угла заготовки.

что повышает качество раскроя. Заготовка не может сама проникнуть во внутреннее отверстие другой заготовки, так как третья координата в пространстве листа отсутствует.

Поэтому представляется разумным превратить плоские заготовки в объемные и организовать их моделирование в трехмерном пространстве. Это даст заготовкам лишние степени свободы, позволит перескакивать одной заготовке через угол другой и даже проникать в полости. В толстом слое утрясаемых тел, как известно, большие «всплывают» вверх, а при снижении интенсивности вибраций «тонут», раздвигают мелкие заготовки, что способствует заполнению полостей. Прототип трехмерной гравитационной модели разработан и описан в работе [11]. Заготовки, составляющие карту раскроя, помещаются на лист с нулевой массой, что позволяет ему самому не подвергаться гравитационному воздействию. Заготовкам придаются объем [12], упругость, плотность, коэффициенты трения поверхности и начальный технологический зазор. Задается начальный гравитационный вектор, который в ходе моделирования может менять свое направление. Уточняется критерий качества — коэффициент раскроя, коэффициент делового остатка, коэффициент расхода материала и т.п. Задается программа утряски (вектор вибраций листа, амплитуда, частота, момент поворота гравитационного поля, продолжительность каждой вибрации и т.д.). Выбор утряски может осуществлять пользователь на свое усмотрение, либо она может быть выбрана программно в зависимости от набора заготовок, формы листа и критерия качества. Утряска реализуется при помощи фи-

Таблица 1. Физические свойства металлов для исследования.

Физическая величина, размерность	Значение
Плотность металла $\rho$ , г/мм <sup>3</sup>	0,007856
Удельная теплоемкость металла $c$ , Дж·г <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>	0,466
Удельная теплота плавления металла $\lambda$ , Дж/г	275
Температура плавления металла $T_m$ , К	1900

зического движка, производится контроль «зависания» заготовок друг на друге и их стряхивание. По окончании моделирования полученная карта раскроя приводится к плоскому виду.

Одной из перспективных задач при подготовке заготовок к моделированию является автоматический расчет технологического зазора в зависимости от параметров лазерного технологического комплекса и материала. Минимизация рассчитанного зазора, достигаемая с помощью подбора оптимальных параметров ЛТК, также положительно влияет на коэффициенты качества раскроя. Целью исследования является разработка и внедрение в гравитационную модель модуля расчета технологического зазора и оптимизации параметров ЛТК

Начальный технологический зазор в модели рассчитывается на основе исследований, проведенных в работе [5]. В ней для минимальной шероховатости поверхности при полном отсутствии грата проведена оптимизация параметров резки стали толщиной до 25 мм излучением CO<sub>2</sub>-лазера, а также найдены безразмерные параметры, определяющие получение минимальной шероховатости стенок реза. Для этого использовано уравнение баланса энергии лазерной резки стали в виде:

$$AW + W_{ox} = W_m + W_{cond}, \quad (2)$$

где  $A = A(h)$  — интегральный коэффициент поглощения;  $W$  — мощность лазерного излучения, Вт;  $W_{ox}$  — мощность, выделяемая при окислении железа Вт;  $W_m$  — мощность, затрачиваемая на плавление металла в зоне реза, Вт;  $W_{cond}$  — мощность, расходуемая на нагрев металлавне зоны реза, Вт. В развернутом виде уравнение баланса выглядит следующим образом:

$$AW + Vbh\delta_{ox}\Delta H = Vbh\rho(c\Delta T + \lambda) + W_{cond}, \quad (3)$$

где  $V$  — скорость резки, мм/с;  $b$  — ширина реза, мм;  $h$  — толщина листа, мм;  $\rho$  — плотность металла, г/мм<sup>3</sup>;  $c$  — удельная теплоемкость металла при комнатной температуре, Дж·г<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\lambda$  — удельная теплота плавления металла, Дж/г;  $\delta_{ox}$  — доля окисленного железа в удаляемом расплаве;  $\Delta H$  — удельная теплота реакции окисления (отношение энергии реакции окисления  $E_O$  к моляр-

ной массе железа  $M$ ), Дж/г;  $\Delta T$  — разница температуры плавления металла  $T_m$  и температуры окружающей среды  $T_0$ , К.

Интегральный коэффициент поглощения  $A$  и мощность, расходуемая на нагрев металла вне зоны реза  $W_{cond}$  были получены экспериментально в [5]. Доля окисленного железа  $\delta_{ox}$  в удаляемом расплаве рассчитана на основе экспериментов и составляет 30%-36%.

Из уравнения баланса (3) можно получить формулу расчета ширины реза  $b$ :

$$b = \frac{AW - W_{cond}}{Vh\rho(c(T_m - T_0) - \delta_{ox}\frac{E_O}{M} + \lambda)} \quad (4)$$

На основе экспериментальных значений интегрального коэффициента поглощения и мощности, расходуемой на нагрев металлавне зоны реза, с помощью метода наименьших квадратов получены уравнения квадратичной регрессии:

$$W_A(h) = -0.0006h^2 + 0.0231h + 0.5197 \quad (5)$$

$$W_{cond}(h) = 2.9909h^2 + 118.2364h + 159.5455 \quad (6)$$

Уравнения аппроксимируют исходные данные с погрешностью, не превышающей 1%.

При подстановке функций (5) и (6) в формулу (4) получается итоговое выражение, используемое в гравитационной модели для расчета начального технологического зазора

$$b = \frac{W_A(h)W - W_{cond}(h)}{Vh\rho(c(T_m - T_0) - \delta_{ox}\frac{E_O}{M} + \lambda)} \quad (7)$$

Для исследования зависимости ширины реза от основных параметров толщина листа  $h$ , скорости реза  $V$  и мощности излучения  $W$  использовались физические свойства стали [13], которые представлены в таблице 1.

В результате исследования получено множество данных, некоторые графики представлены на рисунках 2–4.

Как видно из графиков при увеличении мощности и толщины листа ширина реза возрастает, а при увеличении скорости убывает, что соответствует действитель-

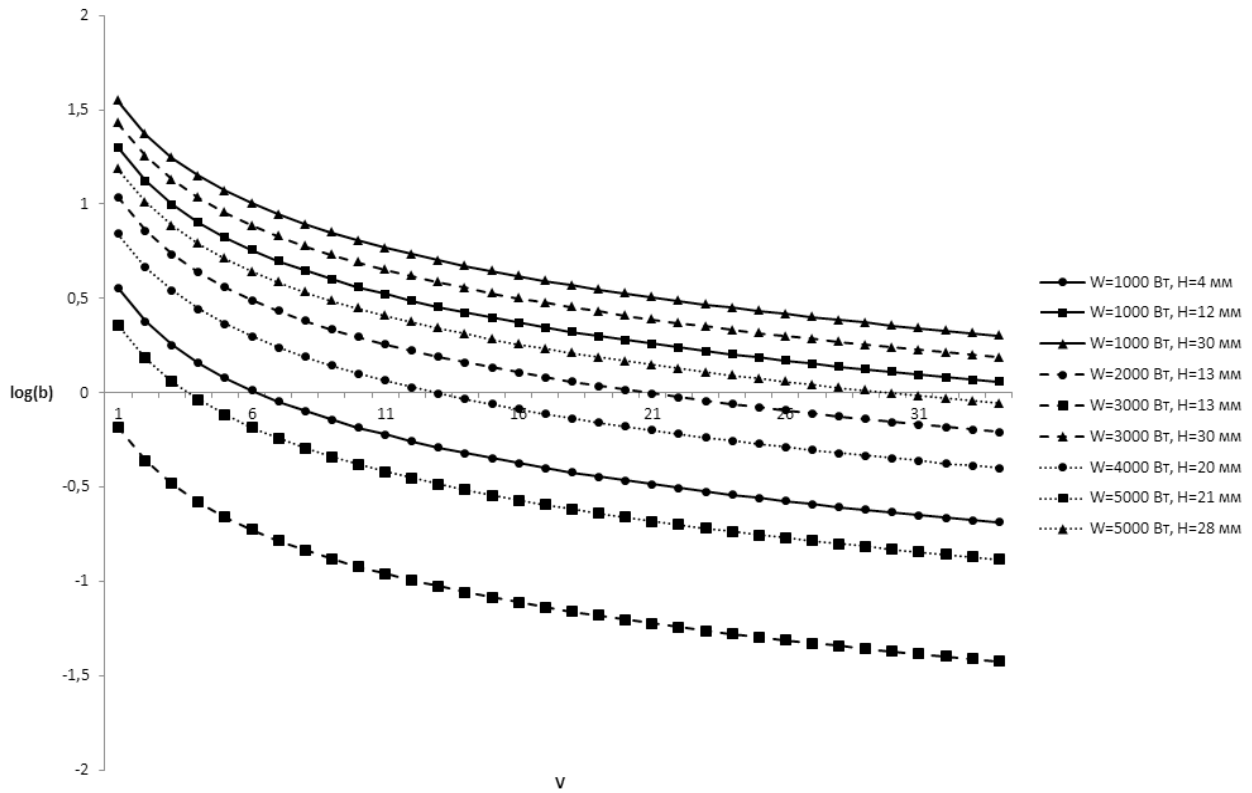


Рисунок 2. Зависимость логарифма ширины реза  $b$  от скорости реза  $V$ , при различных мощностях излучения  $W$  и толщинах листа  $h$ .

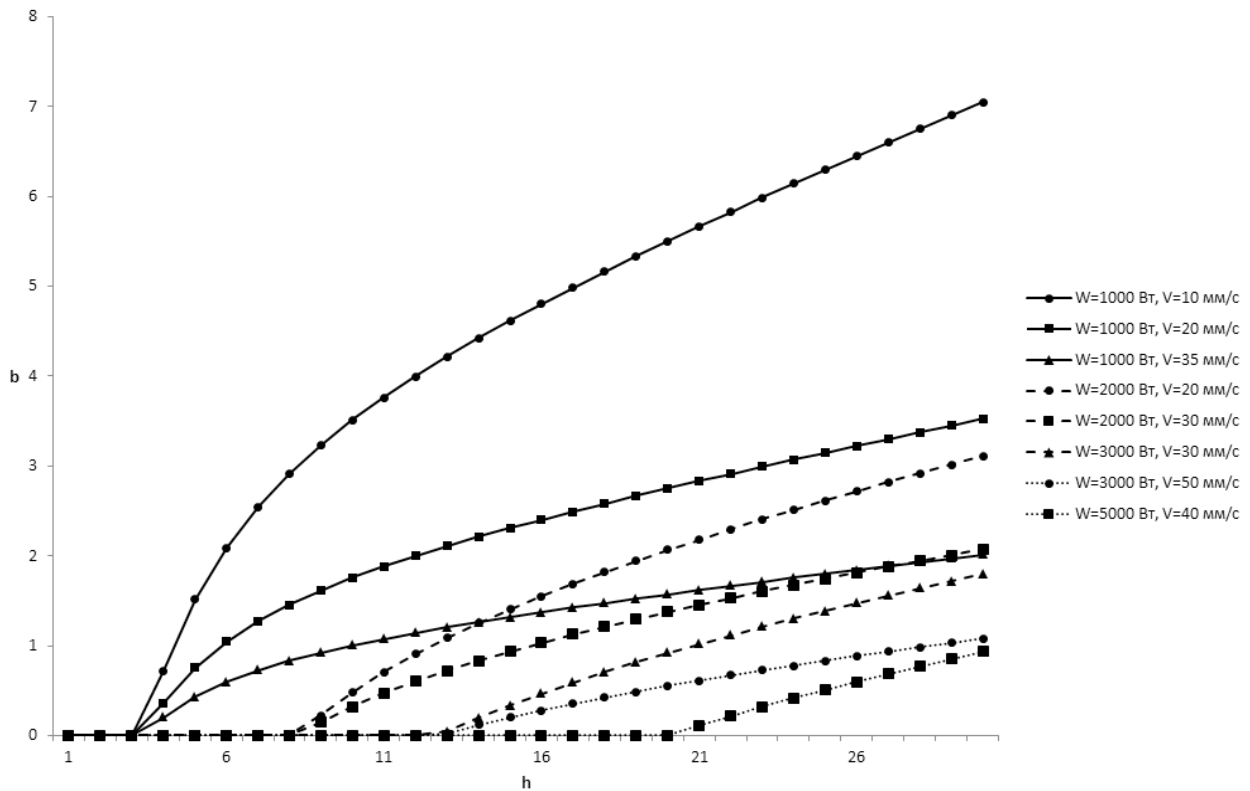


Рисунок 3. Зависимость ширины реза  $b$  от толщины листа  $h$ , при различных скоростях реза  $V$  мощности излучения  $W$ .

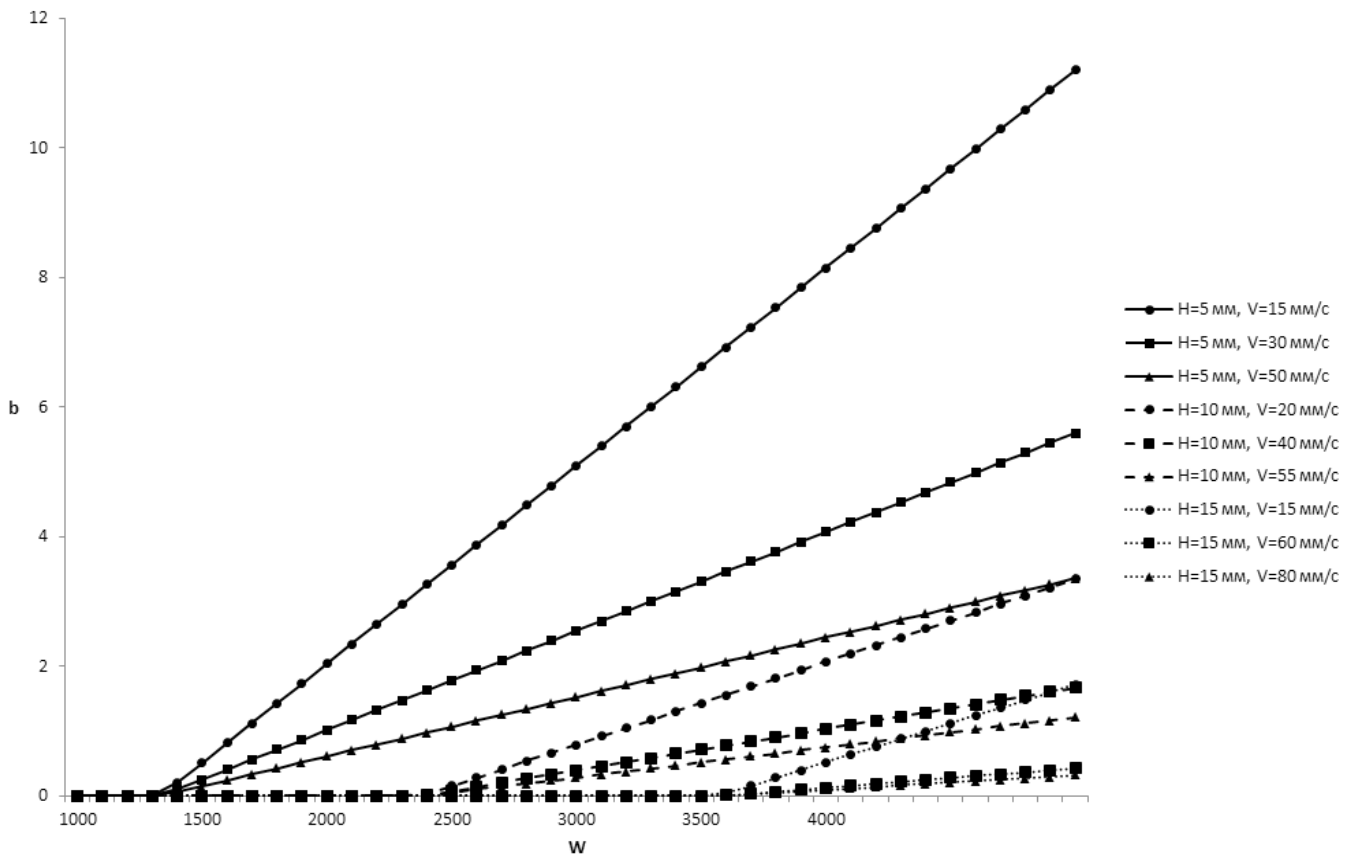


Рисунок 4. Зависимость ширины реза  $b$  от мощности излучения  $W$ , при различных толщинах листа  $h$  и скоростях  $V$ .

ности. Полученные значения в исследовании значения нельзя использовать при расчете минимальной ширины реза, потому что они не учитывают глубину. Это значит что нет гарантии того что при подборе оптимальных параметров мощности, скорости и ширины листа ЛТК сможет прорезать металл.

В работе [15] описывается безразмерный параметр  $\sigma$ , который характеризует отношение удвоенной мощности излучения к энергии, которую необходимо затратить на нагрев металла до температуры плавления, а затем его расплавить. Параметр  $\sigma$  описывается следующим выражением:

$$\sigma = 2W / [\pi\omega_0^2 V (\rho_m \lambda + \rho_s c (T_m - T_0))], \quad (8)$$

где  $W$  — мощность лазерного излучения, Вт;  $\omega_0$  — радиус пучка в фокальной плоскости ( $\omega_0 \sim 0,1$  мм), мм;  $V$  — скорость резки, мм/с;  $\rho_m$  — плотность жидкого металла, г/мм<sup>3</sup>;  $\lambda$  — удельная теплота плавления металла, Дж/г;  $\rho_s$  — плотность твердого металла, г/мм<sup>3</sup>;  $c$  — удельная теплоемкость металла при комнатной температуре, Дж·г<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $T_m$  — температуры плавления металла, К;  $T_0$  — температуры окружающей среды, К;

Там же в виде графика представлено исследование зависимости глубины разрушения нержавеющей стали от параметра  $\sigma$  для CO<sub>2</sub> лазера. При аппроксимации графика получено уравнение полиномиальной регрессии четвертого порядка, которое позволяет рассчитать глубину реза:

$$d = 1.7884 * 10^{-7} \sigma^4 - 7.8963 * 10^{-5} \sigma^3 + 0.01 \sigma^2 + 0.5953 \sigma - 2.2746, \quad (9)$$

где  $d$  — глубина реза, мм.

С помощью полученного выражения (9), предварительно рассчитав  $\sigma$  (8), можно получить минимальную ширину реза с учетом разрезания металла для различных параметров ЛТК. Возможен также поиск оптимальных параметров для задачи  $b \rightarrow \min$  с дополнительным ограничением  $d \geq h$ . На рисунке 5 представлено распределение оптимальной скорости резки, полученное при исследовании оптимизации скорости резки.

Небольшие интервалы допустимых значений оптимизируемых параметров позволяют использовать

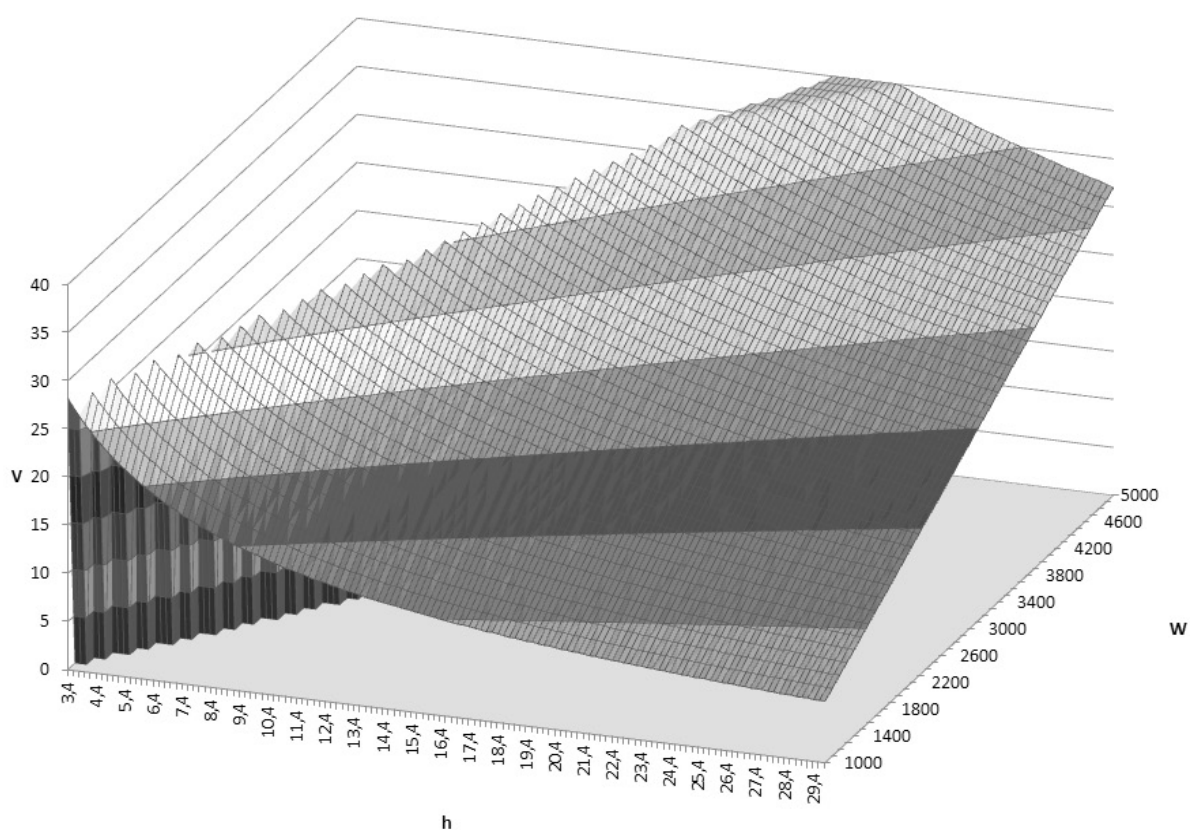


Рисунок 5. Зависимость оптимальной скорости  $V$  от мощности излучения  $W$  и толщины листа  $h$  и при наименьшей ширине реза  $b$  с условием разрезания металла.

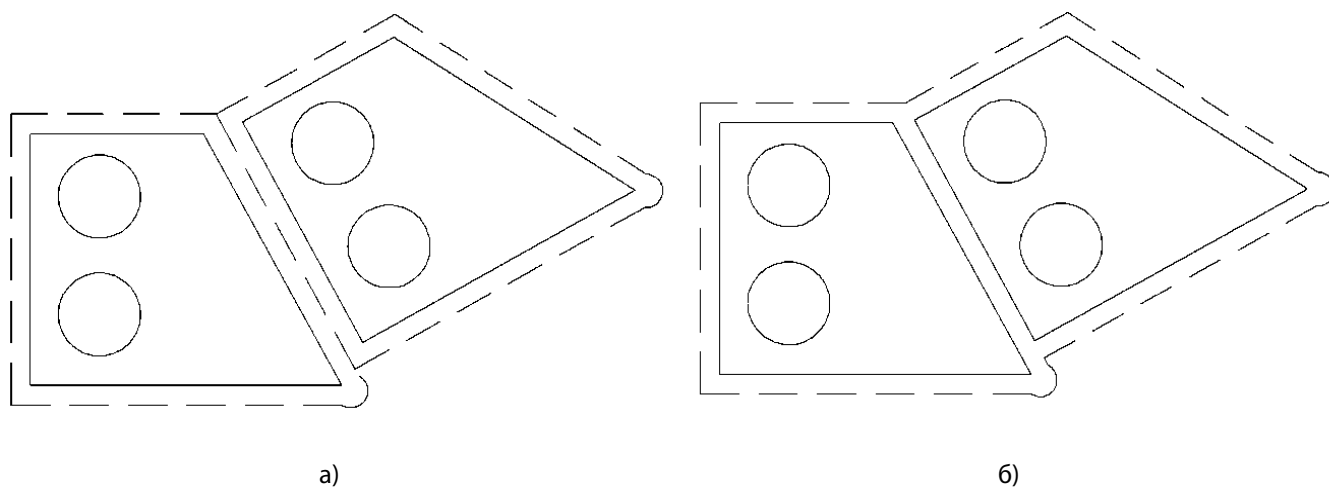


Рисунок 6. Соприкосновение идентичных элементов заготовок. а — Формирование двойного технологического зазора, б — аннулирование технологического зазора у одной из заготовок.

метод равномерного поиска [16]. При помощи разработанного программного обеспечения перед началом гравитационной утряски можно оптимизировать как все параметры, так и отдельные. Например, если оператором указана только толщина листа, то про-

грамма определит оптимальную мощность и скорость. После определения оптимальных параметров, программа накладывает на каждую заготовку технологический зазор в виде описанной оболочки и запускает утряску.

В случае соприкосновении идентичных элементов заготовок получается двойной технологический зазор (рисунок 6а). В таком случае режущий инструмент будет проходить по границе соприкасаемых заготовок дважды. Для решения этой проблемы гравитационная модель во время формирования карт раскроя отслеживает соприкосновения идентичных элементов заготовок и аннулирует у одной из заготовок начальный технологический зазор в месте соприкосновения (рисунок 6б).

Если в процессе моделирования заготовки перестают соприкасаться, то начальные зазоры восстанавливаются. Данный способ позволяет получить более плотную карту раскроя и уменьшить путь режущего инструмента, то есть время и себестоимость раскроя.

Поставленная во введении к статье цель достигнута. На основе уравнения баланса энергии лазерной резки получено выражение для расчета технологического зазора на основании параметров ЛТК, физических свойств металла и толщины листа. Для получения выражения расчета глубины разрезания использовался безразмерный параметр  $\sigma$ , характеризующий отношение удвоенной мощности излучения к энергии, которую необходимо затратить на нагрев металла до температуры плавления, а затем его расплавить. На основе выражений разработан и внедрен в гравитационную модель модуль расчета минимального зазора путем подбора оптимальной скорости резки, мощности лазера и толщины листа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц А. Г., Соколов А. А. Лазерная резка металлов. М.: Высш. шк., 1988. 127 с.
2. Симонова Л. А. Методология построения интегрированного информационного обеспечения гибких производственных систем механической обработки на машиностроительных предприятиях. СПб.: Инфо-ДА, 2004. 198 с.
3. Оришич А. М., Фомин В. М. Актуальные проблемы физики лазерной резки металлов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 176 с.
4. Портнов С. М., Кисаев И. Н., Кузнецов И. Н. Оптимизация режимов лазерной резки металлов в среде кислорода. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация, 2010. № 3. Т. 56. С. 50–54.
5. Маликов А. Г., Оришич А. М., Шулятьев В. Б. Энергетические характеристики лазерно-кислородной резки стали излучением CO<sub>2</sub>-лазера. // Квантовая электроника, 2012. № 7. Т. 42. С. 640–644.
6. Зайцев А. В., Ковалев О. Б., Смирнова Е. М. Анализ влияния характеристик излучения газового (CO<sub>2</sub>) и волоконного лазеров на форму и глубину разрушаемой поверхности металла // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика, 2014. № 1. Т. 9. С. 62–69.
7. Дьяченко Ю. В., Маковецкий А. В., Хитрых Е. Е. Численное моделирование процессов лазерной резки листовых авиационных материалов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2014. Вып. 63. С. 104–114.
8. Майоров В. С., Майоров С. В., Хоменко М. Д., Гришаев Р. В. Остаточные деформации и дефекты при лазерной резке // Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине. Тр. X межвуз. науч. шк. молодых специалистов. М.: Изд-во МГУ имени М. В. Ломоносова, 2009. С.30–34.
9. Мурзакаев Р. Т., Лялин Д. А. Алгоритм уплотнения карты раскроя на основе двумерной гравитационной имитационной модели // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки», — 2013. -№ 9–10. —с. 34–41.
10. Лялин Д. А. Имитационный алгоритм улучшения решений задачи раскроя упаковки материалов // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика, 2014. С. 113–118.
11. Лялин Д. А. Трехмерная гравитационная модель для решения задач раскроя упаковки материалов // Новый университет. Серия: технические науки, 2015. № 9–10. С. 5–9.
12. Лялин Д. А. Алгоритм преобразования плоских заготовок в объемные для трехмерной гравитационной модели // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика, 2015. С. 139–142.
13. Краткий справочник металлста / Под общ.ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. М.: Машиностроение, 1986. 960 с.
14. Бородулин Г. М., Мошкевич Е. И. Нержавеющая сталь М.: Металлургия, 1973. 320 с.
15. Зайцев А. В., Ковалев О. Б., Смирнова Е. М. Анализ влияния характеристик излучения газового (CO<sub>2</sub>) и волоконного лазеров на форму и глубину разрушаемой поверхности металла // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. 2014. Т. 9. № 1. С. 62–69.
16. Затонский А. В. Информационные технологии: Разработка информационных моделей и систем. М.: ИЦ Риор, 2014. 344 с.
17. Simonova L. A., Khisamutdinov M. R. Intellectual model control data of the module integration SAP-ERP and teamcenter PLM // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 25. № 8. С. 1258–1262.

## РАСЧЕТ ДИНАМОГРАММ ШТАНГОВОГО НАСОСА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

### THE CALCULATION OF THE DYNAMOMETER CARDS OF SUCKER ROD PUMP IN REAL TIME

**A. Malyugin  
D. Kazunin**

*Summary.* a mathematical model of the dynamics of the rods and hydraulic cylinder deep pump installations for training systems real time. The model takes into account the free gas content in the oil at pump intake. The output of the model obtained by the dynamometer card loads at the end of the polished rod. The presented dynamograms corresponding to the regular operation of the pump, as well as working with the complications or malfunctions.

Key words: sucker-rod pump polished rod, the gas, the dynamometer card.

**Малюгин Алексей Александрович**

Соискатель,

Санкт-Петербургский государственный университет

malugin\_alex@mail.ru

**Казунин Дмитрий Владимирович**

Д.т.н., доцент, главный научный сотрудник,

Санкт-Петербургский государственный университет

Аннотация: предложена математическая модель динамики штанг и гидравлики цилиндра глубинной насосной установки для тренажерной системы реального времени. Модель учитывает содержание свободного газа в нефти на приеме насоса. На выходе модели получается динамограмма нагрузки на конце полированного штока. Представлены расчётные динамограммы, соответствующие штатному режиму работы насоса, а также работе с осложнениями или неисправностями.

*Ключевые слова:* скважинный штанговый насос, полированный шток, газовое число, динамограмма.

### Введение

**А**ктивное развитие нефтедобывающей отрасли, усложнение процессов бурения и добычи углеводородов требует качественной подготовки персонала. Это касается и подготовки операторов оборудования освоения скважин. Одним из способов добычи нефти из скважин является использование скважинного штангового насоса (СШН). Особенно актуально их применение для малодобитных скважин. Одним из основных инструментов контроля и диагностирования осложнений в процессе эксплуатации скважины штанговым насосом является динамометрия СШН, которая представляет собой получение диаграммы зависимости нагрузки на полированном штоке от положения его верхнего конца [1, 2, 3, 5].

Одним из направлений подготовки персонала является использование тренажерных систем реального времени, имитирующих рабочую среду для обучаемого. Важнейшей частью тренажерной системы являются математические модели объектов и процессов. Математические модели могут использоваться в средствах обучения операторов или ознакомления с принципами работы установки. В данной статье описывается математическая модель динамики штангового насоса, позволяющая получить динамограммы на штоке в штатном режиме и при появлении осложнений разного типа. Данная модель использована в тренажере эксплуатации и освоения скважин. В работе внимание сосредоточено на математическом моделировании ди-

намики штанг глубинного насоса и гидравлики цилиндра насоса.

На модель, работающую в составе тренажерной системы, налагается ряд специальных требований:

- ◆ Параметры системы могут задаваться в широком диапазоне значений. Колонна штанг может конфигурироваться из различных частей и материалов с разными свойствами. Глубина скважины может достигать нескольких километров.
- ◆ Модель должна имитировать определенный набор эффектов, имеющих место при эксплуатации реального оборудования. Должны воспроизводиться колебательные процессы, связанные с движением колонны с учетом наличия жидкости, ее газовым числом на приеме насоса.
- ◆ Модель может работать как в реальном времени, так и в ускоренном режиме. Причем на одной вычислительной машине класса intel core i5 может запускаться параллельно до 6 моделей для скважин и насосов разной конфигурации.
- ◆ Одним из результатов моделирования должна быть динамограмма полированного штока. Все расчетные величины должны быть адекватными в сравнении с реальными данными.

Важным аспектом обучения является отработка действий во внештатных ситуациях. Поэтому функциональность модели должна включать имитации осложнений и неисправностей: утечки и засорения в всасывающей



и нагнетательной частях, прихват плунжера, низкая посадка плунжера и его заедание в верхней части цилиндра, влияние свободного газа в поступающей в цилиндр жидкости.

На рис. 1 представлена принципиальная схема СШН. Основными частями установки являются система штанг, плунжер, движущийся внутри цилиндра, всасывающий и нагнетательный клапан, насосно-компрессорные трубы (НКТ). Верхний конец штанг приводится в движение станком-качалкой [1, 2].

Исходя из требований к функциональности тренажера, была выбрана модель длинного упругого стержня в скважине. Движение верхнего конца колонны штанг задается через частоту и длину хода полированного штока. Сделаны следующие допущения:

- ◆ Свободный газ, поступающий в объем под плунжером на приеме насоса, далее не растворяется и не выделяется в жидкости.
- ◆ Рассматривается только растяжение колонны штанг, НКТ считаются абсолютно твердыми.
- ◆ Скважина, НКТ и колонны штанг считаются строго вертикальной. Эффекты изгиба НКТ не рассматриваются.
- ◆ Игнорируется трение муфт соединения штанг и других узлов о стенки НКТ, кроме трения плунжера о стенку цилиндра насоса.

### Уравнения динамики насоса

Обозначим глобальную декартову систему  $OXYZ$ , ось  $OX$  направлена вверх, ее начало координат находится на пересечении оси скважины и поверхности земли.  $L_0$  — длина трубы в ненагруженном состоянии,  $\rho$  — плотность материала,  $A$  — площадь сечения,  $E$  — коэффициент упругости,  $\gamma$  — коэффициент вязкости материала,  $D$  — внутренний диаметр НКТ,  $\rho_f$  — плотность жидкости,  $\beta$  — коэффициент сжимаемости жидкости.  $p_d$  — нагнетательное давление (давление над плунжером),  $p_s$  — всасывающее давление (давление под цилиндром). Неизвестными величинами являются продольная координата сечения  $x$ , масса газа  $m_g$  жидкости  $m_f$  в объеме под плунжером, давление в цилиндре  $p_c$ , а также нагрузка в на верхнем конце полированного штока  $F_{pr}$ :

$$x = F(s, t), m_g = F_g(t), m_f = F_f(t),$$

где  $s$  — естественная координата трубы,  $0 \leq s \leq L_0$ ,  $s=0$  соответствует нижнему концу колонны штанг. Обозначим производную по  $s$  через  $d \cdot / ds = (\cdot)'$ .

Уравнения продольных колебаний колонны штанг имеют вид [7]:

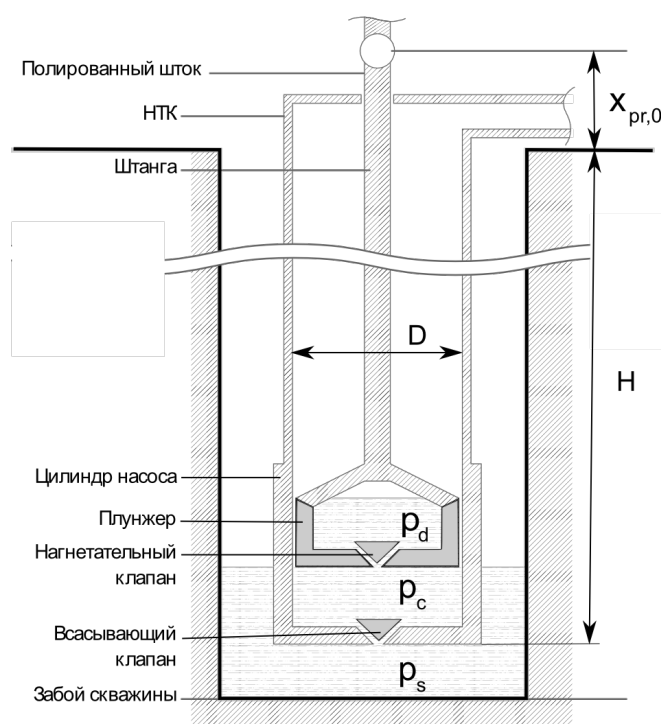


Рис. 1. Схема штангового насоса.

$$\begin{cases} T = EA(x' - 1 + \beta \dot{x}') \\ \rho A \ddot{x} - T' = -(\rho - \rho_f)Ag - \alpha_x \ddot{x}' \end{cases} \quad (1)$$

$T$  — сила натяжения упругой колонны,  $\alpha_x$  — коэффициент гидродинамического трения колонны штанг в жидкости. Граничные условия задаются соотношениями:

$$\begin{cases} x(L_0, t) = A_{pr} \sin(2\pi n_{pr} t) \\ T(0, t) = (0.25\pi D^2 - A)(p_d - p_c) + T_{pl}' \end{cases}$$

где  $n_{pr}, A_{pr}$  — частота и амплитуда движения верхнего конца полированного штока. Площадь давления над плунжером определяется соотношением  $A_c = (0.25\pi D^2 - A)$ .  $F_L = T(L, t)$  — нагрузка на полированном штоке  $T_{pl}$  — сила полужидкого трения плунжера о стенку цилиндра.

В расчёт гидравлики внесена зависимость содержанием газа в цилиндре. Оно определяется газовым числом на приеме насоса  $R_s$  при давлении всасывания [6]. По определению  $R_s = V_{gs} / V_{fs} \cdot V_{gs}$ ,  $V_{fs}$  — объемы газа и жидкости соответственно в смеси при давлении всасывания. Газовое число в цилиндре может меняться в зависимости от изменения газового числа на приеме. Поступление смеси в цилиндр или истечение из него

возможно с учетом осложнений как через нагнетательную, так и через всасывающую часть.

Следующее уравнение описывает изменения газовой и жидкостной массовой составляющей в цилиндре в зависимости от давлений всасывания и нагнетания. Давление на выходе (нагнетательное давление) складывается из давления столба жидкости над плунжером и давления на выходе из НКТ. Давление внутри цилиндра определяется исходя из условия равенства давлений газовой и жидкостной части в объеме цилиндра:

$$\begin{cases} V_g + V_f = V_c = A_c(H + x_{pl}) \\ p_{fc} = p_{gc} \end{cases} \quad (2)$$

Давления жидкости определяется по формуле  $p_{fc} = p_0 - \ln(V_f \rho_{f0} / m_f) / \beta$ , для газа —  $P_{gc} = Z m_g / V_g$ , где  $Z$  — некоторая константа [6].  $x_{pl}$  — координата положения плунжера. Изменение масс свободного газа и жидкости в объеме под плунжером определяется соотношениями:

$$\dot{m}_f = \begin{cases} \frac{\rho_{fd} q_{dc}}{1 + R_d}, \text{ при } p_d > p_c \\ \frac{\rho_{fc} q_{dc}}{1 + R_c}, \text{ при } p_d \leq p_c \end{cases} + \begin{cases} \frac{\rho_{fs} q_{sc}}{1 + R_s}, \text{ при } p_s > p_c \\ \frac{\rho_{fc} q_{sc}}{1 + R_c}, \text{ при } p_s \leq p_c \end{cases}, \quad (2)$$

$$\dot{m}_g = \begin{cases} \frac{\rho_{gd} q_{dc} R_d}{1 + R_d}, \text{ при } p_d > p_c \\ \frac{\rho_{gc} q_{dc} R_c}{1 + R_c}, \text{ при } p_d \leq p_c \end{cases} + \begin{cases} \frac{\rho_{gs} q_{sc} R_s}{1 + R_s}, \text{ при } p_s > p_c \\ \frac{\rho_{gc} q_{sc} R_c}{1 + R_c}, \text{ при } p_s \leq p_c \end{cases}, \quad (3)$$

где массовые потоки:

$$q_{dc} = \begin{cases} \varphi_{dc} A_c \sqrt{2(p_d - p_c) / \bar{\rho}_d}, & \text{при } p_d > p_c \\ -\varphi_{cd} A_c \sqrt{2(p_c - p_d) / \bar{\rho}_c}, & \text{при } p_d \leq p_c \end{cases},$$

Аналогичное выражение можно записать для массового потока  $q_{sc}$ . Знак шляпки над символом плотности означает среднюю плотность смеси. Газовое число смеси под плунжером определяется следующим образом:

$$R_c = m_g \rho_{fc} / m_f \rho_{gc}$$

Плотности  $\rho_{fc}$ ,  $\rho_{gc}$  вычисляются при давлении  $p_c$ . В идеальном случае коэффициенты  $\varphi_{dc}$ ,  $\varphi_{cs}$  равны нулю, что соответствует отсутствию утечек.

Выделим основные неисправности, которые можно задать в работе штангового насоса [4, 8]. Утечки во всасывающей или нагнетательной частях насоса создаются заданием ненулевых значений коэффициентов  $\varphi_{dc}$ ,  $\varphi_{cs}$ . Засорение соответствующих клапанов уменьшением  $\varphi_{cd}$ ,  $\varphi_{sc}$ . Прихват плунжера имитируется с помощью остановки движения нижнего конца колонны штанг. Низкая посадка плунжера и заедание плунжера верхней части цилиндра определяется неправильным соотношением длины штанг и длины НКТ. В качестве основного ослож-

нения в работе используется прокачка жидкости с высоким содержанием свободного газа, степень которого задается газовым числом на приеме насоса  $R_s$ .

### Численные эксперименты

Пространственная дискретизация уравнений продольных колебаний (1) сделана с помощью МКЭ. Для дискретизации использованы линейные элементы. После дискретизации по времени неявными схемами разных порядков точности и приходим к СЛАУ с ленточной матрицей. Полученная система уравнений решается с использованием LU разложения.

Поиск равновесного давления внутри цилиндра и соответствующих объемов газа и жидкости для нелинейной системы (2) осуществляется методом Ньютона на каждом расчетном шаге. Расчёт гидравлики (масс газа и жидкости внутри цилиндра) проходит явным образом с контролем изменения знака разности давления в цилиндре, давления нагнетания и всасывания в формулах (3), (4).

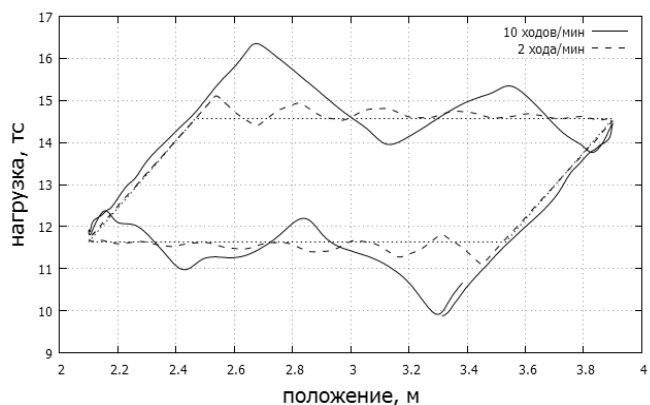


Рис. 2. Динамограмма нормальной работы при разном числе ходов полированного штока.

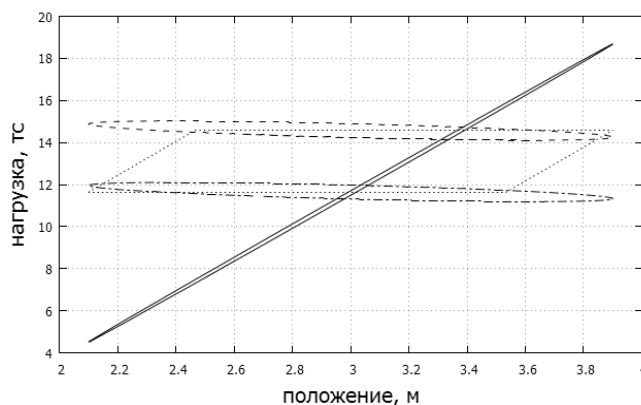


Рис. 3. Динамограмма при неисправностях: прихват плунжера (сплошная линия), выход из строя нагнетательной (штриховая линия) и всасывающей части (штрихпунктирная линия).

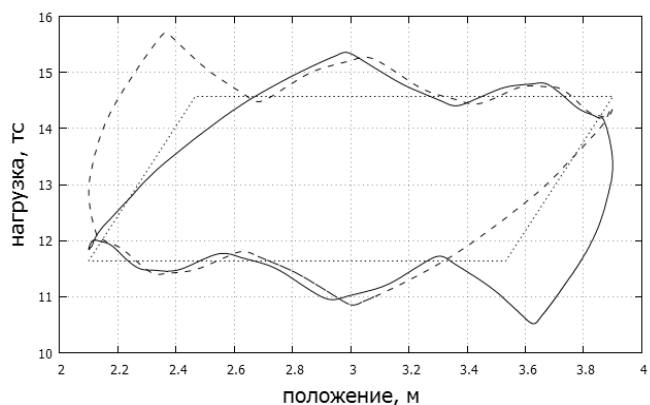


Рис. 4. Динамограмма при осложнениях: утечки в нагнетательной (сплошная линия) и всасывающей (штриховая линия) частях.

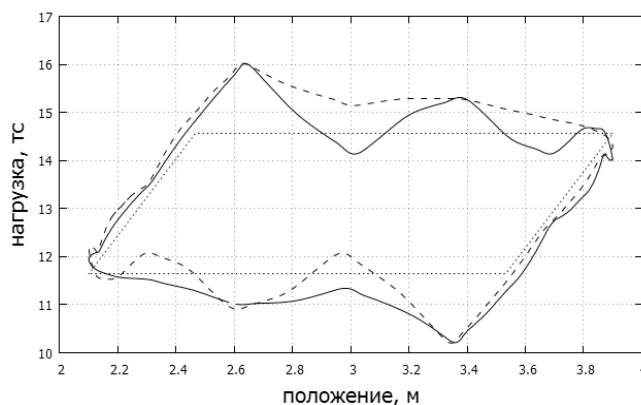


Рис. 5. Динамограмма при осложнениях: засорения нагнетательной (сплошная линия) и всасывающей (штриховая линия) частей.

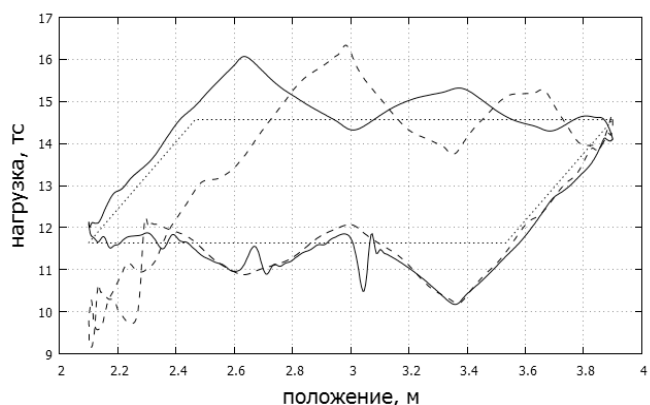


Рис. 6. Динамограмма при осложнениях: заедание плунжера (сплошная линия) и низкая посадка плунжера (штриховая линия).

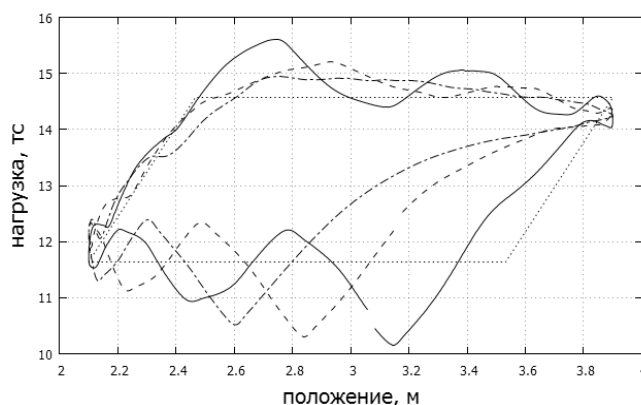


Рис. 7. Влияние свободного газа на динамограмму при разных газовых числах ( $R_{s,1} < R_{s,2} < R_{s,3}$ ) на приеме насоса.  $R_{s,1}$  — сплошная линия,  $R_{s,2}$  — штриховая линия,  $R_{s,3}$  — штрихпунктирная линия.

На рис. 2–7 представлены результаты моделирования для следующих исходных данных. Глубина скважины  $H = 2200$  м,  $D = 0.05$  м. Штанга состоит из двух частей. Верхняя штанга —  $L_1 = 1000$  м,  $d_1 = 0.032$  м, нижняя  $L_2 = 1200$  м,  $d_2 = 0.029$  м. Нагнетательное давление  $p_d = 176$  бар, давление всасывания  $p_s = 30$  бар.

Пунктирной линией обозначена теоретическая динамограмма, соответствующей вышеуказанным данным. На рис. 2 представлены динамограммы штатной работы насоса при разном числе ходов полированного штока. Диаграммы на рис. 3–4 получены для 5 ходов полированного штока.

## Заключение

В ходе моделирования динамики штангового насоса получена вычислительная модель, удовлетворяющая требованиям к ресурсам и функциональности тренажерной системы. Поведение модели соответствует реальным данным достаточно точно для целей обучения. Проведение расчета позволяет проводить имитационную динамометрию насоса. Оно дает возможность обучаемым ознакомиться с работой оборудования, научиться распознавать тип неисправности, которые задаются инструктором тренажерной системы, по качественному виду динамограммы, использовать динамограмму для оценочных расчетов производительности скважины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко И. Т. Скважинная добычи нефти. М.: Нефть и газ, 2003. 816 с.
2. Щуров И. В. Технология и техника добычи нефти. М.: Недра, 1983, 510 с.
3. Ивановский В.Н., Дарищев В. И., Сабиров А. А., Каштанов В. С., Пекин С. С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М.: Нефть и газ, 2002. 824 с.
4. Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В. Моделирование динамограммы станка-качалки. Утечки в клапанах // Нефтегазовое дело. 2005, Т. 3, с. 47–54.
5. Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В. Моделирование динамограммы станка-качалки. Нормальная работа насоса // Нефтегазовое дело. 2004, Т. 2, с. 75–81.
6. Лekomцев А. В. Оценка глубины подвески штанговых глубинных насосов в скважинах Уньвинского месторождения // Вестник ПНИПУ = State National Research Polytechnical University of Perm. Geology. Oil and Gas Engineering and Mining. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2011. — № 1. — С. 85–93.
7. Топольников А. С. Моделирование динамических нагрузок на полированный шток станка-качалки при неисправностях в работе штангового насоса // Труды Института механики им. Р. Р. Мавлютова УНЦ РАН. — 2014. — № 10. — С. 95–101.
8. В. Б. Садов. Моделирование динамограмм с различными дефектами оборудования нефтяной скважины // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2013. — Т. 13. — № 1. — С. 16–25.

© Малюгин Алексей Александрович (malugin\_alex@mail.ru), Казунин Дмитрий Владимирович.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЧЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОВЫШАЮЩИХ ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

## IDENTIFICATION SPEECH DESIGN IMPROVES THE ACCURACY OF THE INFORMATION SEARCH SYSTEM

**D. Potapov  
D. Akimov**

*Summary.* The potency of information search system is measured by completeness and accuracy, while improving the performance of one of these word processing algorithms on the other indicator is the opposite effect, so that the two quantities are inversely related. To improve the overall completeness and accuracy of information should be used in providing a number of algorithms the amount of increase in both values, due to the fact that, in particular when they are used for inverse index smoothed decline in favor of the indicator is to improve the algorithm aims.

And this article is an algorithm for identifying the most informative elements of the text, which can give higher weight in comparison with other elements.

The relevance of the study due to the list of priority directions of development of science, technology and engineering of the Russian Federation, approved by Presidential Decree of July 7, 2011 № 899.

*Keywords:* data Library; linguistic analysis; indexing.

**Потапов Дмитрий Анатольевич**

Аспирант, Московский технологический университет  
potdmiana@mail.ru

**Акимов Дмитрий Александрович**

К.т.н., Московский технологический университет  
Press@smartinterface.ru

*Аннотация.* Эффективность работы системы информационного поиска измеряется полнотой и точностью, при улучшении одного из этих показателей алгоритмами обработки текста на другой показатель оказывается обратное воздействие, таким образом обе величины являются обратно зависимыми. Для общего повышения полноты и точности информации следует применять ряд алгоритмов оказывающих в сумме повышение обеих величин, за счёт того что в частности при их применении сглаживается снижение обратозависимого показателя в угоду показателю на улучшение которого нацелен алгоритм.

А данной статье будет предложен алгоритм выявляющий наиболее информативные элементы текста, которым можно будет раздать более высокие веса в сравнении с другими элементами.

Актуальность исследования обусловлена перечнем приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации утвержден Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899.

*Ключевые слова:* библиотеки данных; лингвистический анализ; индексирование

**П**роведение анализа мнений пользователей сети интернет в первую следует начать лингвистического анализ текстов сообщений. Результативность лингвистического анализа измеряется по полноте и точности классификации сообщения. На вход могут поступать сообщения разной размерности и тематик, на выходе будет получена библиотека размеченных сообщений пользователей с указанием принадлежности к тематикам и датой актуальности.

Сообщения пользователей слишком разнородны что бы можно было прийти к единому методу проведения лингвистического анализа. Опираясь на эмпирические знания выделим диапазон размерности текста, который достаточен что бы нести в себе смысловую нагрузку и мнение, но в тоже время не является слишком большим многосмысловым текстом, например статьёй. Размер оригинального текста сообщения в нашем случае должен быть в диапазоне от 10 до 100 слов.

С течением времени появляются новые темы обсуждения, поэтому использовать только заранее размеченную библиотеку не рационально, т.к. она либо потеря-

ет актуальность либо будет требовать периодической ручной актуализации. Однако часть тематик возможно предусмотреть заранее, например такие темы как: революция, праздник, ЧС, правительство. Заранее размеченная библиотека позволит использовать более жёсткие правила на автоматическое пополнение библиотеки новыми речевыми конструкциями. В библиотеку должны попадать речевые конструкции размером не более 3 слов, в случае если конструкция является единым понятием, то система должна производить разделение конструкции на несколько элементов. Так например элемент «Коммунистическая партия Российской Федерации» может быть преобразована в элементы «коммунисты» и «Россия», в таком случае текст описывающий события связанное с КПРФ должен ссылаться на оба понятия и «коммунисты» и «Россия».

Использование в библиотеке слов, а не фраз обусловлено тем фактом, что фразы обладают худшими статистическими характеристиками чем одиночные слова [1]. Фразы допустимо использовать только как идентификаторы конкретных людей или гео-объектов. Так как библиотека будет представлять из себя только набор

терминов, т.е. хранить только значение, то её реализация будет в виде пополняемого списка.

Так как сообщения пользователей короткие, искать термины для библиотеки тематик следует только массивах текста агрегированных из некоторого количества сообщений. С целью повышения качества сырья в единый массив следует объединять сообщения смежных направлений. Исходя из вышесказанного сформируем требования к алгоритму поиска терминов для библиотеки тематик:

1. Выявление смежности сообщений
2. Взвешивание слов
3. Определение диапазонов весов, достаточных для внесения слова в список тематик

Смежными предложениями будут считаться предложения имеющие наибольшую силу связи. Сила связи вычисляется по формуле:

$$F(s_{n,i}) = \sum_{n=1, i=1} Q(s_n) * Q(s_i) \quad [3]$$

Формула расчёта силы связи предложений

Где:

$Q(S_n)$  — количество вхождений конкретного слова  $s$  в предложение  $S_n$

$Q(S_i)$  — количество вхождений конкретного слова  $s$  в предложение  $S_i$

По представленной формуле будет вычисляться коэффициент силы связи двух предложений. Полученные значения удобно хранить в виде квадратной матрицы, в которой строки и столбцы являются симметрично упорядоченными сообщениями. Все элементы матрицы являются неотрицательными целыми числами, а главная диагональ приведена к нулю. Сама матрица всегда будет симметричной при правильном упорядочивании столбцов и строк.

Взвешивание слов будем производить по формуле вероятности встречи слова в конкретном массиве текста:

$$p = N_i / N_{max}$$

Формула расчёта вероятности

Где:

$N_i$  — количество повторений слова  $i$  в массиве

$N_{max}$  — количество всех слов в массиве

Опираясь на законы Ципфа и исследования, которые показывают что наиболее значимые для текста слова

лежат в средней части графика [2], добавим условие, что для пополнения библиотеки будет использоваться только малая часть слов, расположенная на графике максимально близко к нулю. Кол-во таких слов должно быть зависимо от размера анализируемого массива, для построения зависимости будем использовать двоичный логарифм.

Что бы выявить наиболее важные для определения смысла сообщения слова воспользуемся дистрибутивно-семантическим моделью vector space model (модель векторного пространства). Принадлежность сообщения к тематике будем выявлять через меру TF-IDF. На вход будут подаваться коллекции сообщений, но в отличии от общепринятого расчёта индекса для всех слов, будет производиться расчёт индекса только для тех слов, которые присутствуют в библиотеке тематик.

Воспользуемся немодифицированной формулой  $tf * idf$ .

TF (Term frequency) — рассчитывается как количество вхождений конкретного термина в конкретное сообщение, делённое на общее количество слов в этом сообщении.

$$tf(t, d) = \frac{n_i}{\sum_k n_k}$$

Формула расчёта TF

IDF (Inverse document frequency) — рассчитывается как инверсия частоты, с которой некоторое слово встречается в сообщениях коллекции.

$$idf(t, D) = \log \frac{|D|}{|d_i \supset t_i|}$$

Формула расчёта IDF

Где

$t$  — термин

$d$  — (data set) сообщение

$D$  — количество сообщений

$n_i$  — количество термина  $t$  в тексте сообщения

$n_k$  — количество терминов в тексте сообщения

$|d_i \supset t_i|$  — количество сообщений, в которых встречается  $t_i$ , когда  $n_i \neq 0$

Мера TF-IDF является произведением двух сомножителей:

$$tf - idf(t, d, D) = tf(t, d) \times idf(t, D)$$

Таким образом большой вес в TF-IDF получают слова с высокой частотой в пределах конкретного документа и с низкой частотой употреблений в других документах.

Распределение весов по представленной формуле позволит оценить значимость слова только с точки зрения вхождения в документ, порядок следования и синтаксические роли слов не учитываются.

Модель TF\*IDF применяется в общей практике для объёмных текстов, для проверки эффективности применения модели в отношении сообщений пользователей социальной сети необходимо провести эксперимент.

Для оценки результативности выявления ключевых слов был разработан модуль, реализующий данный алгоритм на языке python.

```
def index_tf(text):
    tf_result = collections.Counter(text)
    for i in tf_result:
        tf_result[i] = tf_result[i]/float(len(text))
    return tf_result
```

Алгоритм расчёта меры tf

```
def index_idf(word, corpus):
    return len(corpus)/sum([1.0 for i in corpus
        if word in i])
```

Алгоритм расчёта меры idf

В качестве входных данных использовались тексты сообщений пользователей, с нормализованными формами слов. На выходе для каждого сообщения был получен набор терминов из библиотеки тематик встретившихся в тексте сообщения, и веса важности терминов в рамках сообщения.

Сформулированный подход использования библиотеки готовых речевых конструкций для поиска затрагиваемых в сообщении тем позволит разработать тематическую модель выявления актуальных трендов, основанных на мнениях пользователей сети интернет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lewis D.D., An evaluation of phrasal and clustered representations on a text categorization task. In Proceedings of SIGIR92, 15th ACM International Conference on Research and Development in Information Retrieval (Kobenhavn, DK, 1992), pp. 37–50., 1992
2. Kechedzhy K.E., Usatenko O.V., Yampol'skii V. A. Rank distributions of words in additive many-step Markov chains and the Zipf law (англ.) // Phys. Rev. E.. — 2004.
3. Яцко В.А., Имметричное взвешивание терминов, Символ науки, (2015), 12–1 (декабрь), 87–90.

© Потапов Дмитрий Анатольевич ( potdmiana@mail.ru ), Акимов Дмитрий Александрович ( Press@smartinterface.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# АСУ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ ВОЕННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА ЭКСПОРТА РОССИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

## ACS STRATEGIC GOVERNMENT PLANNING: THE USE OF MILITARY CAPABILITIES FOR THE FORMATION OF A RATIONAL PLAN OF RUSSIAN ARMS EXPORTS

*I. Samarin  
A. Fomin*

*Summary.* The technique of forming of rational export targets of the Russian arms, the military and special equipment on the basis of use of the importing countries this about military-economic potentials and quantitative estimates of opportunities of their entry into the coalition of allies of Russia in the possible military conflicts is considered. The structure and quantitative indices of the specified plans are determined as a result of the solution of tasks of mathematical programming with criterion functions which depend on military-economic capacities of the countries. Possible statements of optimization tasks to which rational planning of export of arms, the military and special equipment, and also some features of solutions of these tasks comes down are considered.

*Keywords:* military-economic potential, arms, the military and special equipment, the importer, structure, the generalized indicator, restrictions, optimization, criterion function, export.

**З**адача формирования рационального плана экспорта российского вооружения является одной из важнейших государственных стратегических задач, от эффективного решения которых зависит не только экономическое благополучие страны, но и её национальная безопасность.

В данной работе предпринята попытка формализации задачи формирования рационального плана экспортных поставок российского вооружения на основе применения военно-экономических потенциалов (ВП) стран для возможности создания АСУ стратегического государственного планирования. Как следует из работ [1,2], ВП — это обобщённые показатели, учитывающие не только количества различного вооружения, но и параметры экономики.

Сначала рассмотрим известные фактические данные об экспорте вооружения.

Данные об экспорте вооружения основными странами-экспортёрами графически представлены на рис. 1.

**Самарин Илья Вадимович**

*К.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени  
И. М. Губкина  
ivs@gubkin.ru*

**Фомин Александр Николаевич**

*Д.т.н., научный сотрудник, Военная Академия  
им. Петра Великого  
sad116@mail.ru*

*Аннотация.* Рассмотрена методика формирования рациональных планов экспорта российского вооружения, военной и специальной техники на основе использования данных о военно-экономических потенциалах стран-импортёров и количественных оценок возможностей их вхождения в коалицию союзников России в возможных военных конфликтах. Структура и количественные показатели указанных планов определяются в результате решения задач математического программирования с целевыми функциями, которые зависят от военно-экономических потенциалов стран. Рассмотрены возможные постановки оптимизационных задач, к которым сводится рациональное планирование экспорта вооружения, военной и специальной техники, а также некоторые особенности решений этих задач.

*Ключевые слова:* военно-экономический потенциал, вооружение, военная и специальная техника, импортёр, структура, обобщённый показатель, ограничения, оптимизация, целевая функция, экспорт.

1-е место по фактическому объёму экспорта вооружений занимают США. Идентифицированный военный экспорт США в 2015 г. составил \$41,548 млрд. или 44,77% общемирового объёма экспорта ПВН. Обратите внимание, в какие регионы поставляется американское вооружение (рис. 2).

2-е место в рейтинге ЦАМТО по объёму экспорта вооружений в 2015 г. занимает Россия — \$13,944 млрд. или 15% общемировых поставок (рис. 1).

Российское вооружение в 2015 г. поставлялось в 58 стран. Основная доля поставок приходилась на Индию (28%), Ирак (11%), Китай (9%), Вьетнам (7%) и Венесуэлу (6%).

Эти цифры приведены, в том числе, для того, чтобы остудить некоторые горячие головы, утверждающие, что нам не страшны никакие экономические санкции, мы выживем на экспорте вооружений. Тем более, что он стимулирует развитие высокотехнологических производств.



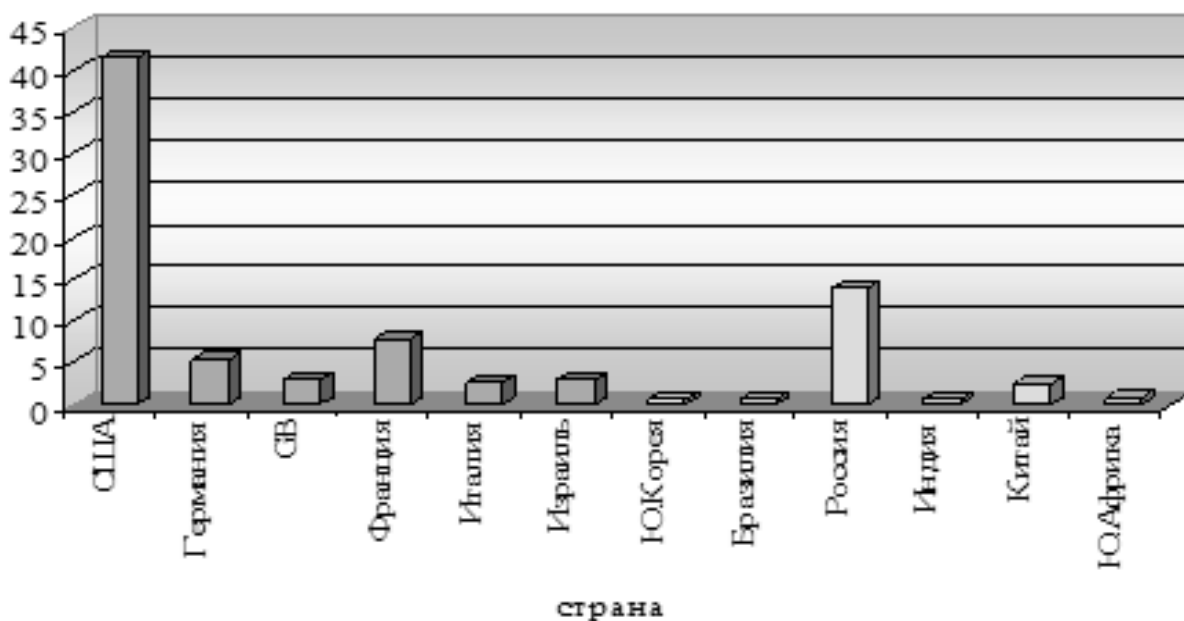


Рис. 1. Объёмы (\$ млрд.) экспорта вооружения основных стран в 2015 г.

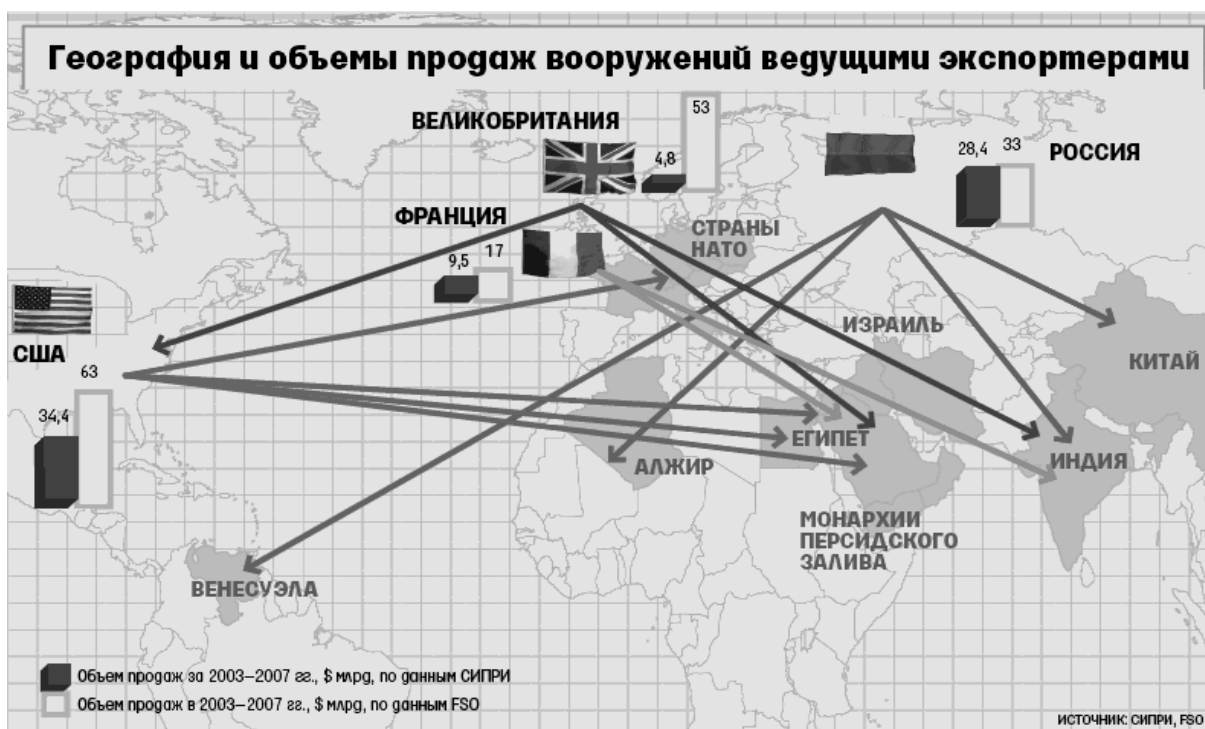


Рис. 2. География экспорта вооружения

Не получится.

В наиболее благополучном для нашей страны 2013 г. объём российского экспорта оружия составлял около \$16 млрд., а общий объём всего российского экспорта — \$523 млрд. (рис. 3). Т.е. доля экспорта вооружения была около 3%. Так что до полного замещения подешевевшей

нефти высокотехнологичной продукцией на внешнем рынке ещё очень и очень далеко.

Осуществляя экспорт вооружения, Россия, также как и другие страны-экспортёры вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), на государственном уровне решает многоцелевую стратегическую задачу.

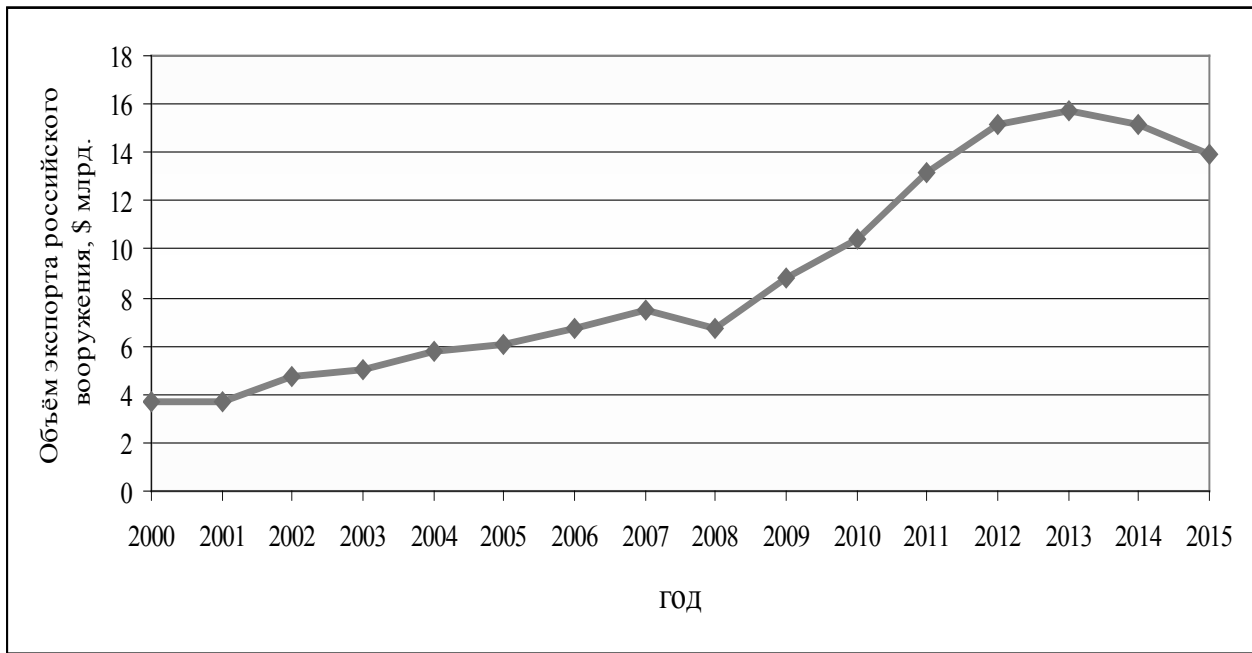


Рис. 3. Объёмы экспорта вооружения РФ

К целям первой группы относится повышение устойчивости экономики страны за счёт получения дополнительных доходов государственного бюджета и повышения уровня занятости трудоспособного населения. Это особенно важно в моногородах, где находятся градообразующие предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Кроме этого, обеспечивается сохранение квалифицированных специалистов, уникальный опыт которых может быть позже востребован.

Вторая группа целей направлена на повышение ВП стран-импортёров российского вооружения, которые могут стать военными союзниками России в случае возникновения масштабного военного конфликта.

Поэтому формирование рационального плана экспортных поставок российского вооружения на государственном уровне связано с решением многоцелевой оптимизационной задачи: как получить не только максимальный (или хотя бы приемлемый) экономический эффект от экспорта вооружения, но при этом вооружить потенциальных военных союзников и минимизировать вооружение тех стран, которые впоследствии могут войти в антироссийскую коалицию.

Часто подобные многокритериальные задачи решаются их сведением к однокритериальным задачам с последующим применением численных методов оптимизации. При этом самый сложный методический вопрос заключается не в самом численном решении, а в обосно-

вании вида функции свёртки частных показателей в комплексный (агрегатный) показатель, который называется обобщённой целевой функцией.

Но в рассматриваемом случае появляется возможность корректно построить такую обобщённую функцию. Дело в том, что, как было отмечено выше, в самой структуре военного потенциала  $P_j$  ( $j$  – номер страны в общем списке стран;  $j = 1, \dots, J$ ) представлены не только составляющие ВВСТ, но и экономическая составляющая, определяющая вклад внутреннего валового продукта (ВВП) страны  $V_j$  в военный потенциал:

$$P_j = \sum_{i=1}^I \beta_i \times x_{ji} + \beta_3 \times V_j + A_j,$$

где  $I$  — общее количество учитываемых видов ВВСТ при определении военных потенциалов стран;

$i$  — номер вида ВВСТ при определении военных потенциалов;  $i = 1, \dots, I$ ;

$x_{ji}$  — количество стоящих на вооружении ВВСТ  $i$ -го вида;

$\beta_i$  — параметр, определяющий вклад в ВП единицы ВВСТ  $i$ -го вида;

$\beta_3$  — параметр, определяющий вклад ВВП страны в военный потенциал;

$A_j$  — совокупность параметров в структуре ВП, непосредственно не связанных с вооружением.

Обозначим  $P_0$  — российский ВП, в котором не учитываются доходы от экспорта ВВСТ.

Таблица 1. Структура спроса на российские ВВСТ

Спрос	1	2	3	4	5	....	.....	N	Y
$y_1$	0	$y_{12}$	0	0	$y_{15}$	.....	.....	$y_{1N}$	$\Sigma y_{1j}$
$y_2$	0	0	$y_{23}$	0	$y_{25}$	.....	.....	0	$\Sigma y_{2j}$
$y_3$	0	0	$y_{33}$	$y_{34}$	0	.....	.....	0	$\Sigma y_{3j}$
$y_4$	0	$y_{42}$	0	$y_{44}$	0	.....	.....	0	$\Sigma y_{4j}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$y_I$	0	0	$y_{I3}$	0	$y_{I5}$	.....	.....	0	$\Sigma y_{Ij}$

Таблица 2. Структура спроса на российские комплектующие, запасные части и услуги в расчёте на единицу ВВСТ

Спрос	1	2	3	4	5	....	.....	N	Z
$z_1$	0	0	0	0	$z_{15}$	.....	.....	$z_{1N}$	$\Sigma z_{1j}$
$z_2$	0	$z_{22}$	$z_{23}$	0	0	.....	.....	0	$\Sigma z_{2j}$
$z_3$	0	0	$z_{33}$	$z_{34}$	0	.....	.....	$z_{3N}$	$\Sigma z_{3j}$
$z_4$	0	$z_{42}$	0	$z_{44}$	0	.....	.....	0	$\Sigma z_{4j}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$z_I$	0	$z_{I2}$	$z_{I3}$	0	$z_{I5}$	.....	.....	$z_{IN}$	$\Sigma z_{Ij}$

Таблица 3. Доход от экспорта единицы ВВСТ

Доход	1	2	3	4	5	....	.....	.....	N
$d_1$	0	$d_{12}$	0	0	$d_{15}$	.....	.....	.....	$d_{1N}$
$d_2$	0	0	$d_{23}$	0	$d_{25}$	.....	.....	.....	0
$d_3$	0	0	$d_{33}$	$d_{34}$	0	.....	.....	.....	0
$d_4$	0	$d_{42}$	0	$d_{44}$	0	.....	.....	.....	0
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$d_I$	0	0	$d_{I3}$	0	$d_{I5}$	.....	.....	.....	0

Таблица 4. Доход от экспорта комплектующих, запасных частей и услуг в расчёте на единицу ВВСТ

Доход	1	2	3	4	5	....	.....	.....	N
$\delta_1$	0	0	0	0	$\delta_{15}$	.....	.....	.....	$\delta_{1N}$
$\delta_2$	0	$\delta_{22}$	$\delta_{23}$	0	0	.....	.....	.....	0
$\delta_3$	0	0	$\delta_{33}$	$\delta_{34}$	0	.....	.....	.....	$\delta_{3N}$
$\delta_4$	0	$\delta_{42}$	0	$\delta_{44}$	0	.....	.....	.....	0
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$\delta_I$	0	$\delta_{I2}$	$\delta_{I3}$	0	$\delta_{I5}$	.....	.....	.....	$\delta_{IN}$

J стран формируют структуру спроса на российские ВВСТ, которая в упрощённой форме представляется табл. 1,2.

Заметим, что ненулевые ячейки в этих двух таблицах могут не совпадать, т.к. поставка комплектующих, запасных частей и оказание услуг по восстановлению поставленных ВВСТ может быть предусмотрена более ранними контрактами по экспорту.

В правых столбцах табл. 1,2 просуммированы цифры по столбцам в каждой строке. Они определяют суммарные спросы (по всем предполагаемым покупателям) для различных видов ВВСТ.

Для определения экономического эффекта от экспорта вооружения необходимо также располагать данными о величинах дохода о продажи ВВСТ разного вида — табл. 3,4.

Величины доходов от продажи ВВСТ в разные страны могут отличаться друг от друга.

Теперь — очень важный этап проводимого анализа. Нам потребуется информация о вероятности «р<sub>j</sub>» того, что страна j будет военным союзником РФ в предполагаемом военном конфликте, а также — о вероятности «q<sub>j</sub>» того, что эта же страна окажется в коалиции наших противников. При этом (р<sub>j</sub>+q<sub>j</sub>) ≤ 1, т.к. страна может оказаться и нейтральной.

Заметим, что термин «вероятность» здесь употребляется не в общепринятом смысле, не так, как это принято в теории вероятности. Действительно, говорить о вероятности можно лишь при многократном повторении событий. А здесь — единственная реализация. Поэтому более точный термин — «возможность», как мера того, что некая страна в будущем окажется нашим союзником или противником.

Понятно, что значения «р<sub>j</sub>» и «q<sub>j</sub>» могут быть оценены только экспертным путём — сложно предположить создание соответствующих математических моделей ситуационного анализа мировой системы.

Сейчас мы не станем рассматривать возможные экспертные схемы, которые могут быть построены, например, на анализе некоторых иерархий. Положим, что, пользуясь ими, нам удалость тем или иным способом оценить совокупность значений «р<sub>j</sub>» и «q<sub>j</sub>» для всех стран.

Если в будущем военном конфликте будут участвовать две коалиции стран, то итог «Э» войны во многом будет определяться отношением суммарных военных потенциалов стран коалиций:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & \left\{ P_0 + \beta_3 \times \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij}) + \right. \\ & \left. + \sum_{j=1}^J p_j \times [P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times (y_{ij} + z_{ij})] \right\} / \\ & \left[ \sum_{j=1}^J q_j \times [P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times \Sigma(y_{ij} + z_{ij})] \right] \end{aligned}$$

Это выражение определяет целевую функцию экспорта вооружения. Естественно, что желательно выбрать такую схему поставок вооружения различным странам-импортёрам (параметры y<sub>ij</sub> и z<sub>ij</sub>), чтобы максимизировать величину «Э». Таким способом будут обеспечены и безопасность страны в случае военного конфликта, и доход S от экспорта:

$$S = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij})$$

Поэтому для определения рациональных наборов параметров должна решаться следующая оптимизационная задача (задача математического программирования):

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_0 = \max(\mathcal{E}) = \max \{ & \{ P_0 + \beta_3 \times \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij}) + \\ & + \sum_{j=1}^J p_j \times [P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times (y_{ij} + z_{ij})] \} / \\ & / \sum_{j=1}^J q_j \times [P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times \Sigma(y_{ij} + z_{ij})] \} \end{aligned}$$

при ограничениях:

$$y_{ij} \geq 0 \text{ для всех } i \leq I, j \leq J$$

$$z_{ij} \geq 0 \text{ для всех } i \leq I, j \leq J$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \leq \min(Y_i, U_i) \text{ для всех } i \leq I$$

$$\sum_{j=1}^J z_{ij} \leq \min(Z_i, V_i) \text{ для всех } i \leq I$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij}) \geq S_{\min}$$

Первые две группы ограничений очевидны: они лишь указывают, что параметры y<sub>ij</sub> и z<sub>ij</sub> должны быть неотрицательными, что вполне естественно.

Следующие две группы ограничений также просты по смыслу. Они обозначают, что суммарные поставки некоторых образцов ВВСТ во все страны-импортёры не должны превышать суммарного спроса Y, U на эту продукцию, а также суммарных возможностей Z, V промышленности РФ по её производству. Поэтому выбирается минимальное значение из этих 2-х цифр: min(Y, U) min(Z, V) — срабатывает фактор минимума.

Последнее ограничение определяет минимально устанавливаемую величину общего дохода от экспорта вооружения. В нормально развивающейся экономике это ограничение может не учитываться, т.к. экономические параметры уже включены в структуру целевой функции «Э».

Но если в экономике страны развиваются кризисные явления, и требуется принять дополнительные меры по наполнению государственного бюджета, то директивно может устанавливаться нижний порог доходов от экспорта вооружения.

Заметим, что это может привести к ситуации, когда экспорт вооружения будет производиться не только потенциальным союзникам, но и потенциальным противникам. Здесь, к сожалению, первоочередными становятся задачи дня сегодняшнего, а то, что произойдет потом — с этим будем разбираться завтра.

Если кризисные явления в экономике страны — очень серьезные, то может потребоваться переформулировка оптимизационной задачи. В этом случае главным показателем (критерием) становится величина  $S$  дохода от экспорта, а величина  $\Xi_{\min}$  определяет нижнее ограничение на соотношение военных потенциалов возможных союзников и противников. Тогда оптимизационная задача записывается в обратной постановке, т.е. в виде:

$$S_0 = \min(S) = \min \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij}) \right\}$$

при ограничениях:

$$y_{ij} \geq 0 \text{ для всех } i \leq I, j \leq J$$

$$z_{ij} \geq 0 \text{ для всех } i \leq I, j \leq J$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \leq \min(Y_i, U_i) \text{ для всех } i \leq I$$

$$\sum_{j=1}^J z_{ij} \leq \min(Z_i, V_i) \text{ для всех } i \leq I$$

$$\begin{aligned} & P_0 + \beta_3 \times \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (d_{ij} \times y_{ij} + \delta_{ij} \times z_{ij}) + \sum_{j=1}^J p_j \times [ P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times (y_{ij} + z_{ij}) ] / \\ & / \sum_{j=1}^J q_j \times [ P_j + \sum_{i=1}^I \beta_i \times \sum_{i=1}^I (y_{ij} + z_{ij}) ] \geq \Xi_{\min} \end{aligned}$$

Рассмотренные выше задачи — это задачи математического целочисленного программирования. Для численного решения подобных задач на ПЭВМ разработан специальный алгоритм — метод нормированных функций [3].

Мы обозначили только общие контуры экспертно-расчетной системы формирования рационального структуры и направленности экспорта российского вооружения. В этом вопросе много латентных параметров, т.к. экспорт ВВСТ часто осуществляется на грани законности. Поэтому иногда возникают сложности с формализацией.

Тем не менее, представляется, что использование военно-экономических потенциалов при создании методологии и формализованных методов построения автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами, а также при разработке алгоритмов построения автоматизированных экспертных и диалоговых подсистем в сфере рационального планирования экспорта российского вооружения, военной и специальной техники, может позволить лучше сориентироваться в этом сложном вопросе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин И.В., Рябошапка В.А., Фомин А.Н. Методика оценки военных потенциалов стран на основе рейтинга Business Insider // Вестник Академии военных наук № 1 (50) — М., ООО «Полиграфическая компания «СПринт», 2015
2. Самарин И.В., Рябошапка В.А., Фомин А.Н. Стратегическое планирование ОПК: оценка военных потенциалов стран на основе индексов военной мощи Global Firepower Index // «Инновации и инвестиции» № 4 — М., 2015, с. 101–107
3. Самарин И.В., Баскаков В.В., Федосеев С.А., Фомин А.Н. Теоретические и программно-инструментальные основы стратегического планирования на предприятиях оборонно-промышленного комплекса в современных условиях. Монография // Министерство обороны РФ — М., Типография ВА РВСН им. Петра Великого, 2015
4. Самарин И.В. Стратегическое планирование: модифицированный метод парных сравнений для задач высокой размерности. // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. 2016. № 1. С. 121–134.
5. Самарин И.В. Стратегическое планирование на предприятии: факторы минимума при формировании целевой функции деятельности предприятия. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». — 2016. - № 4. - С. 38–43.
6. Самарин И.В. Оборонно-промышленный комплекс России в условиях глобальной конкуренции. // Стратегическая стабильность. 2013. № 2 (63). С. 16–23.

© Самарин Илья Вадимович (ivs@gubkin.ru), Фомин Александр Николаевич (sad116@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЧИСЛЕНИЯ ХОЛОСТОГО ХОДА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ЗА СЧЕТ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

## OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CALCULATING THE CUTTING TOOL IDLING BY METAHEURISTIC ALGORITHM PARALLELIZATION

**A. Subbotin  
R. Murzakaev**

*Summary.* The article considers optimization of idle run of machining tool calculation for cutting problem. Idle run calculation based on the Great Deluge metaheuristic algorithm. Statistic analysis showed modest dispersion of criterion. It means that this algorithm is sustainable. Testing showed decrease of criterion by 1,1%.

*Keywords:* cutting problem, parallel calculation, threads, the Great Deluge algorithm, calculation of idle run, island models.

**Субботин Андрей Михайлович**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет  
andrey.05.12.93@mail.ru

**Мурзакаев Рустам Талгатович**

К.т.н., доцент, Пермский национальный  
исследовательский политехнический университет  
rustmur@gmail.com

*Аннотация.* В статье рассматривается оптимизация холостого хода режущего инструмента для задачи плоского раскроя материалов. Вычисление холостого хода осуществляется на основе метаэвристического алгоритма Всемирного потопа. Проведенный статистический анализ показал незначительный разброс критерия, что говорит о стабильности алгоритма. Тестирование показало уменьшение критерия в среднем на 1,1%.

*Ключевые слова:* задача раскроя, параллельные вычисления, потоки, алгоритм Всемирного потопа, вычисление холостого хода, островная модель.

**З**адача раскроя материала, как подзадача сложной системы автоматизации производства, относится к классу NP-трудных задач комбинаторной оптимизации [1,2,3,4,16]. Это означает, что алгоритма полиномиальной сложности для её оптимального решения до сих пор не найдено, и точный результат в общем случае может быть получен только за экспоненциальное время. [5,6,7] Приближенные алгоритмы решения данной задачи зачастую используют различные методы сокращения перебора [8,9,10]. Поэтому важным этапом при разработке алгоритма раскроя является его быстроедействие, которое позволит перебрать больше вариантов при тех же временных затратах.

Часто для построения холостого хода режущего инструмента используются метаэвристические алгоритмы [11,12,17]. Использование метаэвристик может потребовать больших ресурсов. Оценка особей может длиться достаточно долго: это может быть запуск модели, либо анализ структуры сложного химического соединения. Поэтому параллельные методы являются способом ускорить работу таких алгоритмов [12].

Из методов стохастической оптимизации наиболее подходящими к распараллеливанию являются те, которые используют популяцию решений, поскольку в них изначально одновременно рассматривается множество потенциальных решений, каждое из которых необходи-

мо оценить. Также можно распараллелить методы с одним состоянием (локальный поиск, имитация отжига, Всемирный потоп и др.), но более сложным, неестественным с точки зрения логики построения алгоритма способом.

Целью данной работы является минимизация длины холостого хода режущего инструмента за счёт распараллеливания алгоритма Всемирного потопа (*TheGreatDelugeAlgorithm, GDA*) [14, 15].

В [13,15] описан алгоритм построения холостого хода режущего инструмента программного комплекса *Itas Nesting*. Программе необходимо построить путь перемещения режущего инструмента по листу так, чтобы перемещение инструмента между деталями было минимальным. Режущий инструмент перемещается от одной детали до другой по потенциальным точкам врезки. Точки врезки располагаются в углах деталей. На окружности можно врезаться в любом месте, т.е. на окружности бесконечно много возможных точек врезки. Также учитывается порядок выреза деталей: если есть вложенные детали, то они вырезаются раньше [19].

Представим метод, описанный в [13,15], в виде схемы алгоритма построения холостого хода режущего инструмента (рисунок 1). Его недостатком является то, что он выполняется последовательно.

Рассмотрим возможные методы распараллеливания данного алгоритма.

1. Самым простым способом применения параллельных вычислений к метаэвристическим алгоритмам является использование множественных потоков [12].

Представим схему параллельного алгоритма в виде диаграммы деятельности (*activity diagram*). Данная модель описывает распараллеливание алгоритма при помощи множественных потоков (рисунок 2), в каждом из которых независимо выполняются вычисления холостого хода.

Сначала происходит построение начального решения для метаэвристического алгоритма. Далее при помощи программных средств определяется доступное количество процессоров ( $k$ ). После чего создаются  $k$  потоков. В каждом потоке цикл выполняет  $n$  итераций, в которых на каждой детали выбирается случайным образом одна из возможных точек врезки. После этого они записываются в массив *newPath*. Далее происходит сравнение текущего для данного потока решения с новым для определения более подходящего. Программа вычисляет длину холостого хода как сумму расстояний между двумя соседними точками маршрута и сравнивает между собой значения решений в каждом из потоков. Лучшее решение записывается в массив *newPath*. Далее этот массив используется для построения холостого хода режущего инструмента.

2. В рассматриваемой задаче возможно применение островной модели, в которой каждое ядро процессора будет представлять собой «остров» [12] (рисунок 3). Аналогично предыдущему методу, в программе создаётся начальное решение для метаэвристического алгоритма. Далее создаётся  $k$  потоков ( $k$  равно количеству доступных процессоров), которые будут соответствовать «островам». В каждом потоке цикл выполняет  $n$  итераций, в которых строится новое решение. После того, как все потоки отработают, определяется лучшее из полученных решений. Это решение распространяется на все «острова», и алгоритм продолжает расчёт новых решений во всех потоках. Лучшее решение записывается в массив *newPath*. Далее этот массив используется для построения холостого хода режущего инструмента.

Программный модуль параллельной обработки метаэвристического алгоритма был разработан для системы раскроя *Itas Nesting* на языке программирования *Java*. Чтобы узнать, количество доступных процессоров в *Java* есть функция `Runtime.getRuntime().availableProcessors()`. Для реализации параллельных вычислений использовались *thread*'ы.



Рисунок 1. Схема алгоритма построения холостого хода режущего инструмента

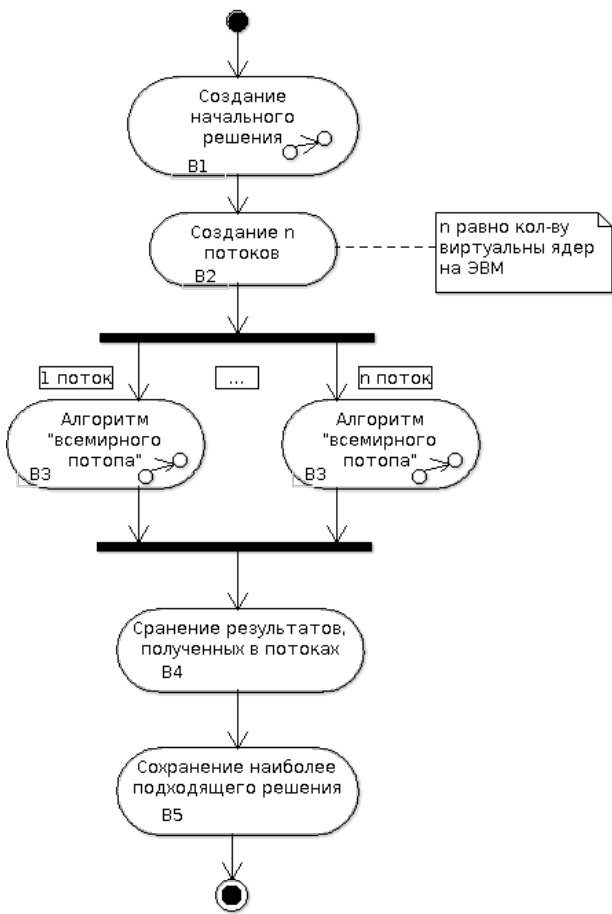


Рисунок 2. Модель параллельного алгоритма построения холостого хода режущего инструмента

Тестирование данного модуля проводилось на компьютере *Lenovo G50*, ОС *Windows 8.1*. Количество процессоров в системе равно 4.

Тестирование проводилось для листа размером 1500\*6000 мм, содержащем 224 детали различной формы и размера. Основные детали в сборке:

- ◆ небольшие прямоугольники (250\*112 мм) с двумя зубцами на длинной стороне;
- ◆ детали в форме подковы (габаритом 240\*232 мм) с двумя небольшими отверстиями на краях;
- ◆ прямоугольные треугольники со срезанными углами (100\*200 мм);
- ◆ детали в форме окружности (диаметр 190 мм) с большим отверстием в центре и шестью небольшими отверстиями по периметру;
- ◆ небольшие детали ( $\approx$  габаритом 30\*30мм) различной формы.

Тестирование было проведено для трёх случаев: в один поток, в четыре потока (по числу процессоров

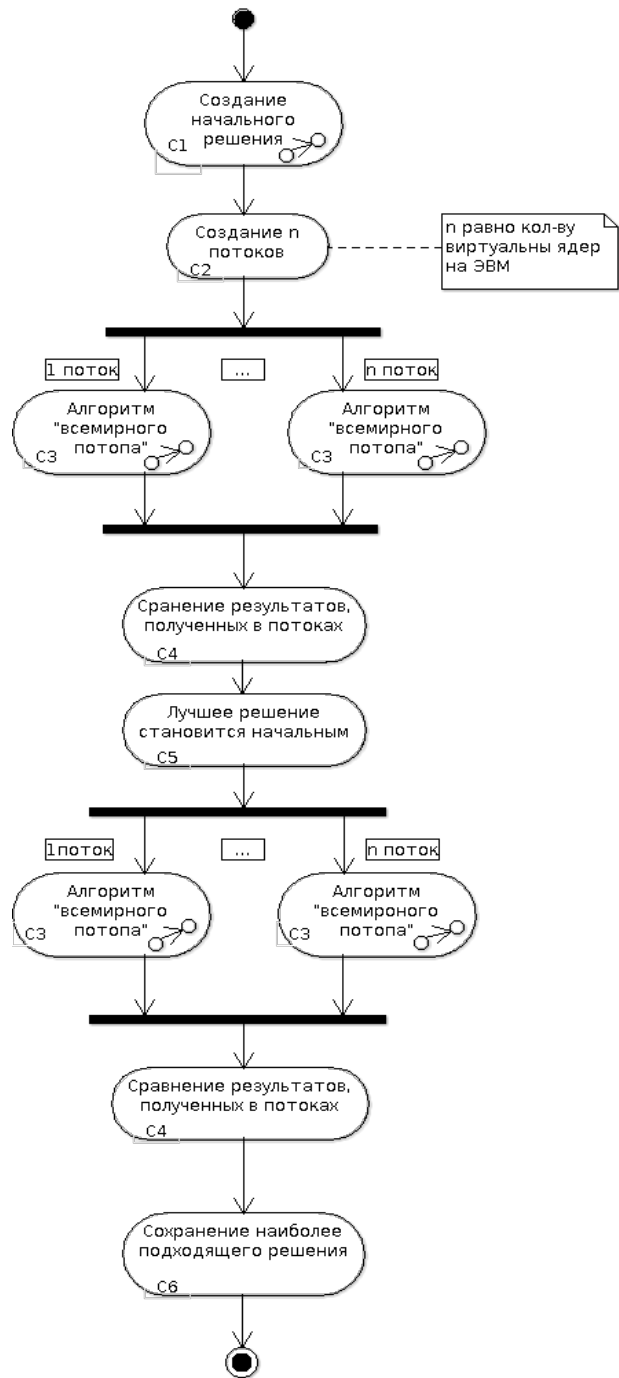


Рисунок 3. Модель параллельного алгоритма построения холостого хода режущего инструмента с использованием островной модели

в системе) для модели множественных потоков и для островной модели. В качестве критерия использовалась длина пути холостого хода режущего инструмента (минимум). Результат тестирования представлен в таблице 1 и на рисунке 4. В каждом тесте алгоритм рассчитывал значение длины холостого хода 100 раз. Так как крите-



Таблица 1. Результаты тестирования

№ теста	Минимальное значение критерия (мм)	Максимальное значение критерия (мм)	Среднее значение критерия (мм)
1	59842,93	59893,78	59864,01
2	59828,42	59867,64	59852,19
3	59779,34	59825,27	59801,88

Тест № 1 — работа алгоритма в один поток.

Тест № 2 — работа алгоритма в 4 потока.

Тест № 3 — работа алгоритма в 4 потока с использованием островной модели.

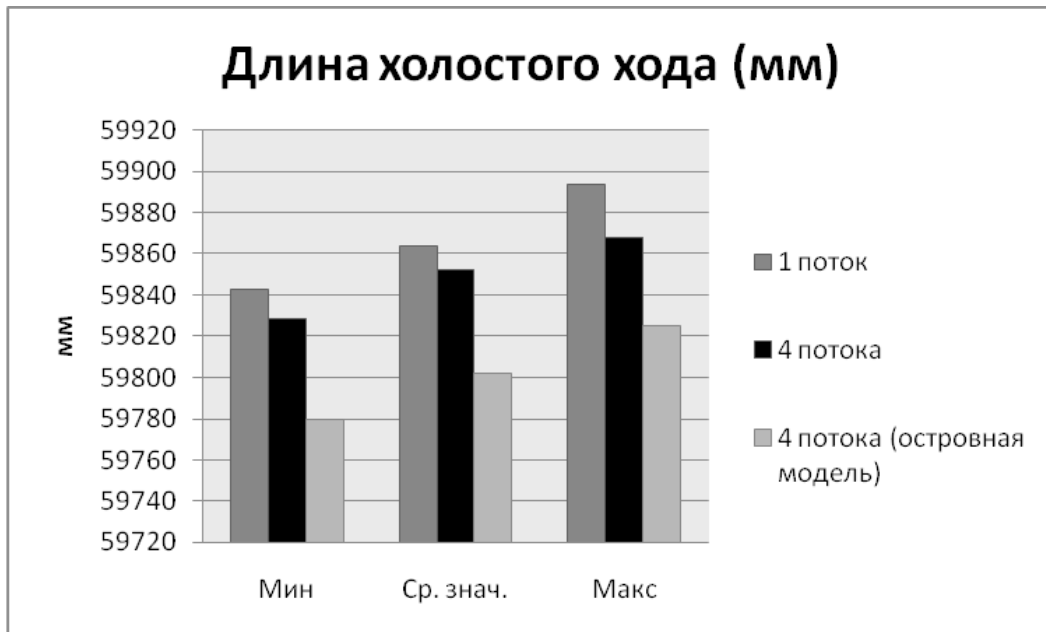


Рисунок 4. Результаты тестирования

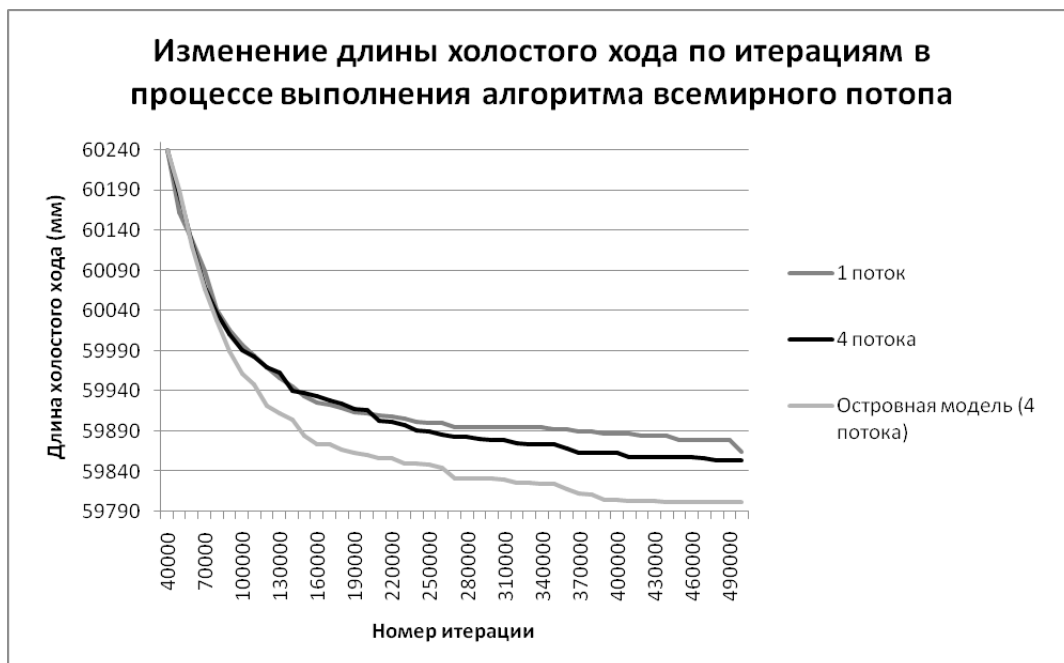


Рисунок 5. Изменение длины холостого хода по итерациям в процессе выполнения алгоритма всемирного потопы

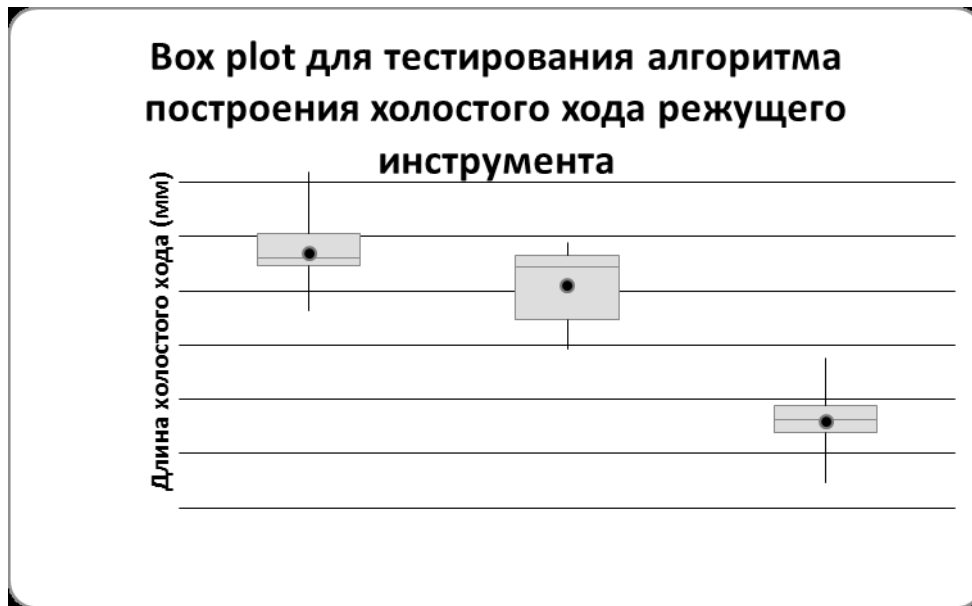


Рисунок 6. Box plot для тестирования алгоритма построения холостого хода режущего инструмента

рий рассчитывается при помощи метаэвристического алгоритма, то в таблице с результатами тестирования отображены только минимальное, максимальное и среднее значения критерия.

Примем среднее значение критерия за исходный сигнал, а значения конкретных тестов за сигнал с шумом. Среднее значение критерия при использовании островной модели равно 59801,88. Это значение меньше, чем минимальное значение критерия при последовательном запуске алгоритма. Это позволяет сделать вывод о том, что разработанный модуль действительно улучшает работу программного комплекса, минимизируя холостой ход режущего инструмента. Если же посчитать изменения в процентном соотношении, то использование островного алгоритма для 4 потоков для данной сборки уменьшает значение холостого хода в среднем на 1,1%.

На рисунке 5 изображено изменение длины холостого хода по итерациям в процессе выполнения алгоритма всемирного потока тремя исследуемыми методами. Как видно на рисунке, уменьшение критерия при использовании островной модели происходит значительно быстрее.

Данная диаграмма позволяет сделать вывод об эффективности использования островной модели для построения холостого хода режущего инструмента, т.к. меньшее значение критерия достигается за меньшее число итераций. То есть для подобных карт раскроя можно будет получить меньшее значение холостого хода. А для карт раскроя с меньшим количеством дета-

лей или с деталями более простой формы (с меньшим числом потенциальных точек врезки) оптимальный вариант построения холостого хода будет достигнут быстрее.

Представим результаты тестирования в виде *box plot* (рисунок 6).

Данная диаграмма в удобной форме показывает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значение выборки и выбросы [18]. Расстояния между различными частями ящика позволяют определить степень разброса (дисперсии) и асимметрии данных и выявить выбросы. Точками на графике обозначены средние значения для каждого варианта тестирования алгоритма.

На рисунке 6 видно, что значение медианы и среднее значение для островной модели практически совпадают, а размер самого ящика достаточно мал. Это значит, что использование алгоритма основанного на данной модели в большинстве случаев будет давать результаты (длину холостого хода) примерно равные среднему значению и медиане. А в случае использования алгоритма в 4 потока высока вероятность, что при выполнении программы результаты могут сильно отличаться друг от друга. То есть существует вероятность того, что в данном случае результат может получиться аналогичен результату работы алгоритма в 1 поток; простое распараллеливание может просто замедлить работу программы из-за синхронизации потоков, но не дать какого-либо значимого улучшения работы алгоритма.

Таким образом, по результатам тестирования разработанного алгоритма можно сделать вывод об его эффективности, которая выражена в уменьшении длины холостого хода режущего инструмента. Для карты раскроя, содержащей 224 детали, значение критерия

уменьшается в среднем на 1,1%. Использование островной модели позволяет снизить вероятность «выброса» при работе метаэвристического алгоритма Всемирного потопа, что даёт возможность продолжить работу без его повторного запуска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мурзакаев, Р.Т., Шилов, В.С., Буркова, А. В. Основные методы решения задачи фигурной нерегулярной укладки плоских деталей. // Инженерный вестник Дона. — 2013 — No. 4. — URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/204](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/204).
2. Петунин А. А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: дис.д.т.н.: 05.13.12. Екатеринбург, 2009. — 348 с.
3. Петунин А. А., Мухачева Э. А., Филиппова А. С. Метод прямоугольной аппроксимации для решения задач нерегулярного фигурного раскроя-упаковки. // Информационные технологии. — № 1. — 2008. с. 28–31.
4. Fayzrakhmanov R.A., Murzakaev R. T., Mezentsev A. S., Shilov V. S. Applying the greedy algorithm for reducing the dimensionality of the dynamic programming method in solving the one-dimensional cutting stock problem // Middle-East Journal of Scientific Research. -№ 19 (3). — P. 412–416. — 2014 — URL: [http://www.idosi.org/mejsr/mejsr19\(3\)14/14.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr19(3)14/14.pdf) (дата обращения: 12.03.2014)
5. Валиахметова Ю. И. Мультиметодная технология моделирования ортогональной упаковки и размещения прямоугольно-ориентированных заготовок [Текст]. — автореф. к.т. н.: 05.13.18 / Юлия Ильясовна Валиахметова. — Уфа, 2008. — 19 с.
6. Sykora A. M. Nesting problems: exact and heuristic algorithms. // A Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the University of Valencia, Valencia, 2012–187 p.
7. Fayzrakhmanov R.A., Murzakaev R. T., Mezentsev A. S., Shilov V. S. Application of the Group Decoder for Solving the Orthogonal Materials Cutting Problem // World Applied Sciences Journal 28 (10): 1361–1365. — 2013. — URL: [www.idosi.org/wasj/wasj28\(10\)13/4.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj28(10)13/4.pdf).
8. Вальковский В. А. Распараллеливание алгоритмов и программ. Структурный подход / Вальковский В. А. — М.: Радио и связь, 1989. 176с.
9. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / Воеводин В. В., Воеводин Вл.В. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.
10. Quinn M. J. Designing Efficient Algorithms for Parallel Computers. — McGraw-Hill, 1987.
11. Щербина О. А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор). Симферополь: Таврический национальный университет, 2014–17с.
12. Люк Ш. Основы метаэвристики. 2009 [электронный ресурс]. URL: <http://qai.narod.ru/GA/metaheuristics.html> (дата обращения: 09.11.2015).
13. Мурзакаев Р.Т., Шилов В. С., Брюханова А. А. Программный комплекс фигурного раскроя материала Itas Nesting. — Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. № 13, 2015. — 15–25с.
14. Dueck G. New Optimization Heuristics. The great deluge algorithm and the record-to-record travel. Journal of Computational Physics 104, 86–92 (1993).
15. Мурзакаев Р.Т., Приступов В. С. Построение маршрута режущего инструмента на основе алгоритма «всемирного потопа». — В мире научных открытий № 10.2(70), Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. — 828–839 с.
16. Субботин А.М., Шилов В. С. Параллельные вычисления в задачах раскроя материалов. — В мире научных открытий № 10.2(70), Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. — 907–920 с.
17. Валиахметова Ю.И., Филиппова А. С. Теория оптимального использования ресурсов Л. В. Канторовича в задачах раскроя-упаковки: обзор и история развития методов решения. — Вестник УГАТУ Т. 18, № 1(62), 2014. — 186–197 с.
18. McGill Robert, Tukey John W., Larsen Wayne A. Variations of Box Plots. The American Statistician 32 (1): 12–16, 1978.
19. Файзрахманов Р.А., Мурзакаев Р. Т., Бурылов А. В., Приступов В. С. Минимизация общего времени резки с учетом технологий для станков с ЧПУ. — Электротехника № 11, 2016. — 7–12 с.

© Субботин Андрей Михайлович ( [andrey.05.12.93@mail.ru](mailto:andrey.05.12.93@mail.ru) ), Мурзакаев Рустам Талгатович ( [rustmur@gmail.com](mailto:rustmur@gmail.com) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛАНА ГОРИЗОНТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

## RECONSTRUCTION OF CONTOUR LINES CHART AT PROCESSING OF TOPOGRAPHIC MAPS

**V. Tarasyan  
N. Dmitriev**

*Summary.* We propose a production rule system for reconstruction of contour lines chart at processing of topographic map. In takes into account geometric attributes of end points neighborhood of contour lines segments and colors of raptures. F-measure is used for determination of optimal values of parameters and proving efficiency of proposed approach.

*Keywords:* artificial neural network, production rule system, reconstruction of contour lines.

**Тарасян Владимир Сергеевич**

*К. ф.- м. н., Уральский государственный университет  
путей сообщения (г. Екатеринбург)  
vtarasyan@gmail.com*

**Дмитриев Никита Владимирович**

*Аспирант, Уральский государственный университет  
путей сообщения (г. Екатеринбург)  
dmitrievnikita13@gmail.com*

*Аннотация:* В работе произведено построение системы продукционных правил для автоматизирования восстановления плана горизонталей при обработке топографических карт. Правила учитывают геометрические характеристики окрестностей концевых точек сегментов горизонталей. С помощью F-меры были найдены оптимальные значения параметров правил и доказана их эффективность.

*Ключевые слова:* искусственная нейронная сеть, продукционная система правил, восстановление горизонталей.

## Введение

В последнее время системы поддержки принятия решения при проектировании транспортно-логистической инфраструктуры получили широкое развитие вследствие возможности автоматизированной обработки топографических карт. Существующие программные решения, однако, носят скорее процедурный характер, выполняя только простейшие операции над цифровыми изображениями, оставляя сложные интеллектуальные задачи человеку. При этом время преобразования топографических карт в геоинформационную систему местности сокращается, но остаётся до сих пор на достаточно высоком уровне.

Топографические карты представляют собой цветные сложноструктурные изображения низкой чёткости. Наполнение их различными по свойствам и функциям объектами говорит не только о высокой информационной плотности, но и о наличии большого количества знаний, необходимых для их обработки (базами знаний при этом являются правила изображения ТК). Всё это говорит о необходимости прохождения полного цикла их обработки, включая понимание изображения в целом [5]. При этом полная автоматизация считается невозможной, человеку в любом случае необходимо верифицировать результаты работы обрабатывающих программ, в том числе и вносить некоторые исправления [3].

## Постановка проблемы

Одной из основных задач понимания изображения топографических карт является воссоздание

плана горизонталей. Каждой горизонтали ставится в соответствие высота над уровнем моря. Значения высот дискретизируются с некоторым шагом и не всегда отображаются на горизонталях. Из полного плана горизонталей можно получить объёмную модель местности и делать первичные выводы об оптимальном расположении инфраструктурных объектов.

Реальные горизонтали не могут пересекаться и являются замкнутыми кривыми, но их отображение на ТК может привести к их частичному перекрытию другими объектами или замыканию на края карты. Кроме того, горизонтали могут иметь различный вид: тонкие, утолщённые (каждая 4-я или 5-я горизонталь) или штриховые (отражают полушаг). Всё это приводит к тому, что при выполнении предобработки и сегментации горизонталей оптическими и морфологическими методами может быть потеряно большое количество информации о характере рельефа, топология отображения горизонталей может существенно меняться.

Существует несколько основных проблем, которые необходимо решить для восстановления плана горизонталей. Первая относится к воссозданию правильной топологии плана, то есть сращивание разорванных горизонталей и размыкание ложно соединённых. Вторая — распознавание начертания горизонтали. Третья — определение конкретного значения соответствующей высоты. В данной статье подробно рассмотрена первая проблема.

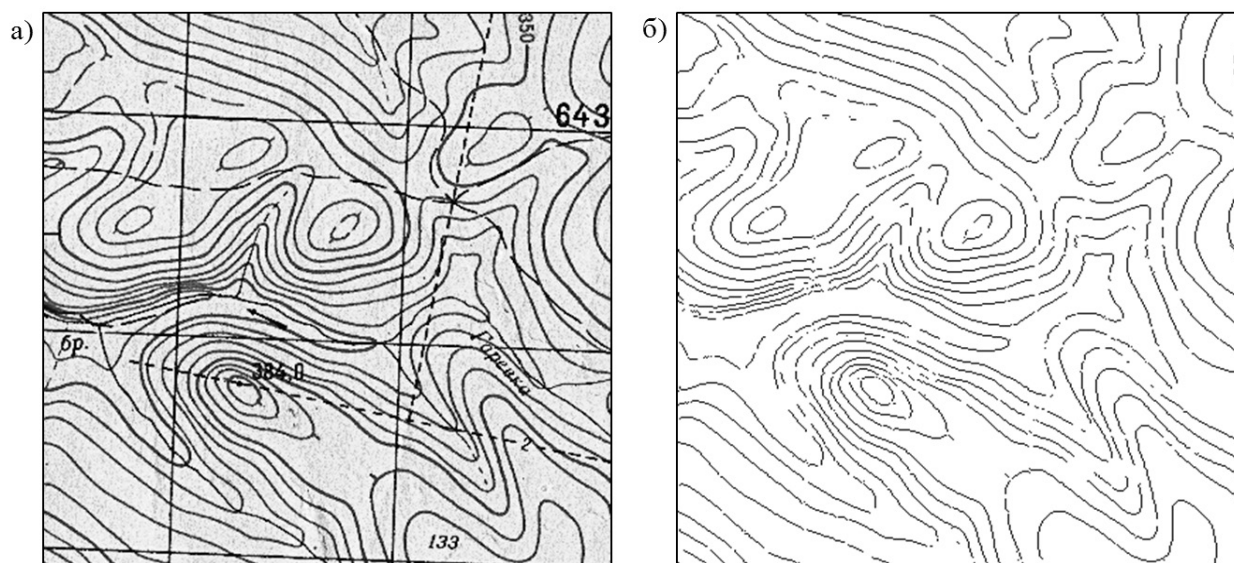


Рисунок 1. а) участок сканированной ТК; б) карта сегментов горизонталей.

### Алгоритм восстановления плана горизонталей

Для получения начальной информации о расположении горизонталей была обучена искусственная нейронная сеть, получающая на входе цветные координаты соседних пикселей (всего 27 входов) [6]. На выходе нейронной сети — мера принадлежности данного пикселя к цвету горизонталей. Фактически данная операция выполняет более интеллектуальную сегментацию, чем другие методы, так как использует весь цветовой спектр, без предобработки изображения ТК в полутоновое, чем достигается сохранение информации. Благодаря использованию ИНС была достигнута гибкость при сегментации, метод показывает достаточно хорошие результаты на небольших кусках ТК.

Полученные сегменты далее необходимо обработать, для этого предварительно была проведена операция скелетонизации и разделения ветвления, так как при этом не теряется информация о топологии исходной карты (горизонталей изначально не могут пересекаться). В итоге получился набор криволинейных отрезков, которые необходимо соединить с учётом того, что все горизонталей могут быть либо замкнутыми, либо замыкаться на краях ТК. Пример ТК изображён на рис. 1а, полученные сегменты на данном этапе — на рис. 1б.

Далее, чтобы произвести правильное сращивание сегментов, необходимо построить их оптимальную модель, сохраняющую основную информацию и обладающую минимальным количеством данных для ускорения обработки. Известно, что любой криволинейный отрезок на плоскости можно аппроксимировать сплайном,

но информация о промежуточных фрагментах нам совершенно не нужна, так как внутри сегмента считается (учитывая предыдущий шаг алгоритма), что никаких ветвлений и разрывов быть не может. Таким образом, определяющую роль для задачи соединения сегментов играют только концевые точки сегментов и характеристики их окрестностей.

Самым примитивным правилом объединения сегментов является пространственная близость их конечных точек [1, 2]:

$$|\vec{r}_i - \vec{r}_j| < \rho,$$

где  $\vec{r}_i, \vec{r}_j$  — вектора  $i$ -ной и  $j$ -той концевых точек,  $\rho$  — максимальное расстояние, на котором точки можно соединить.

При этом достигается минимизация суммарной длины восстанавливаемых разрывов [4]. Тем не менее, данное правило не может быть применено, так как разрывы горизонталей могут быть значительными, что повлечёт за собой неправильное соединение, особенно в местах плотного изображения горизонталей (рис. 2а). Способом избежать этого предлагается использовать также данные об окрестности концевых точек: уравнения касательных и значения кривизны. При этом используются, соответственно, такие понятия, как максимальный угол между касательными и максимальная разница кривизны. Устраняющий разрыв сплайн (УРС) не должен быть выше второй степени, так как при использовании кривых третьей и высших степеней может возникнуть неопределённость из-за возникновения различных точек перегиба

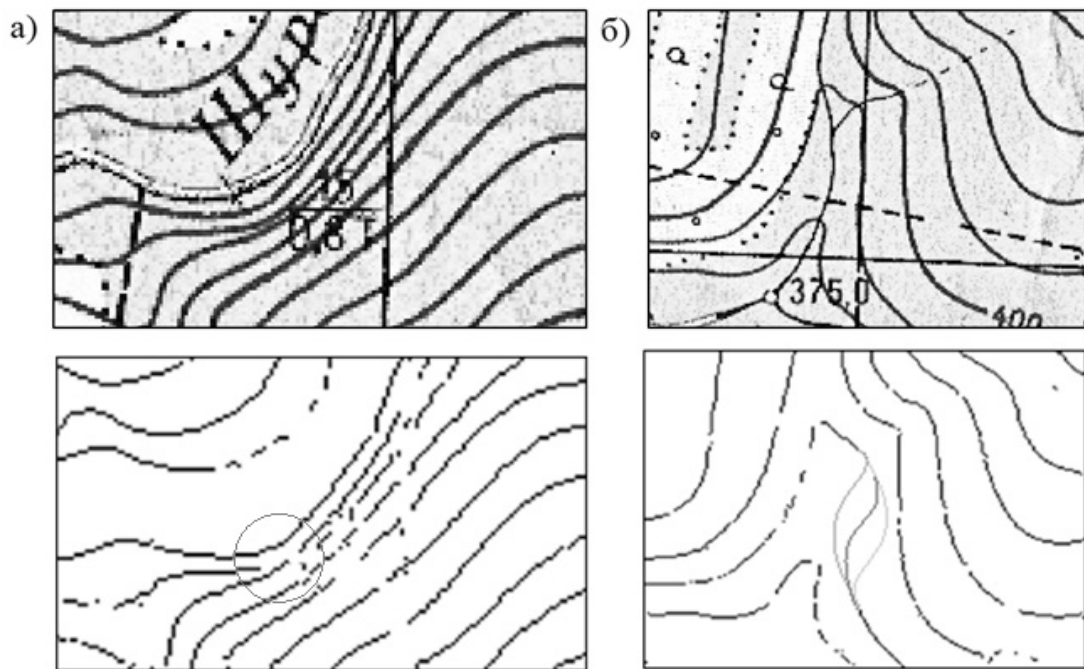


Рисунок 2. а) пример ложной пространственной близости; б) неопределённость при возникновении точек перегиба.

(рис. 2б). Для уменьшения избыточности геометрическая модель УРС принята равной модели сегмента горизонтали, хотя длина УРС может быть значительно меньше и представлять собой кусочек длиной несколько пикселей.

В результате исследований было отмечено, что разрывы горизонталей происходят не в случайных местах, а в местах перекрытия их другими объектами и линиями. Это обусловлено субтрактивностью схемы формирования цветов на ТК: при печати используется модель СМΥК, а не RGB, в итоге пересечение горизонталей коричневого цвета с чёрными объектами или синими (например, реками или их топонимами) приводит к разрыву. Поэтому был сделан вывод о том, что УРС должен проходить по пикселям определённых цветов. Для получения маски таких подавляющих цветов также была обучена искусственная нейросеть.

Тем не менее, данные правила не означают исключения механизма возврата: в любом случае может произойти случайное пересечение УРС, даже удовлетворяющих условиям системы правил. Поэтому необходимо постоянно анализировать, не возникло ли на текущем этапе пересечение в построенных сплайнах и откатывать результаты. Только на конечных этапах при невозможности выбора правильной комбинации соединения концевых точек используется перебор вариантов, так как их остаётся достаточно мало.

Таким образом, построенный алгоритм сращивания сегментов горизонталей представляет собой продукционную модель знания, что является логичным следствием сущности изучаемого объекта.

#### Результаты работы алгоритма

Для подбора оптимальных параметров продукционных правил применялся критерий качества, зависящий от ошибок первого и второго рода. Так как большинство концевых точек не должны соединяться между собой с помощью УРС, то нулевой гипотезой принимаем именно это положение. Ошибкой I-го рода при этом считается ложное сращивание сегментов, а ошибкой II-го рода — ложный пропуск сращивания. При этом ложный пропуск является не критичной ошибкой, так как может быть исправлен при обработке человеком, а ложное сращивание — критичной, так как человек может и не заметить неправильное соединение горизонталей на всей площади карты. Более того, ложное скрещивание на предыдущем шаге итерации может привести к ложному скрещиванию на следующем. Таким образом, так как нам следует пренебрегать полнотой в угоду точности, в качестве критерия качества можно использовать  $F$ -меру с весом  $\beta$ , взятым из интервала (0, 1):

$$F_{\beta} = \frac{(1 + \beta^2) \cdot TP}{(1 + \beta^2) \cdot TP + \beta^2 \cdot FN + FP}$$

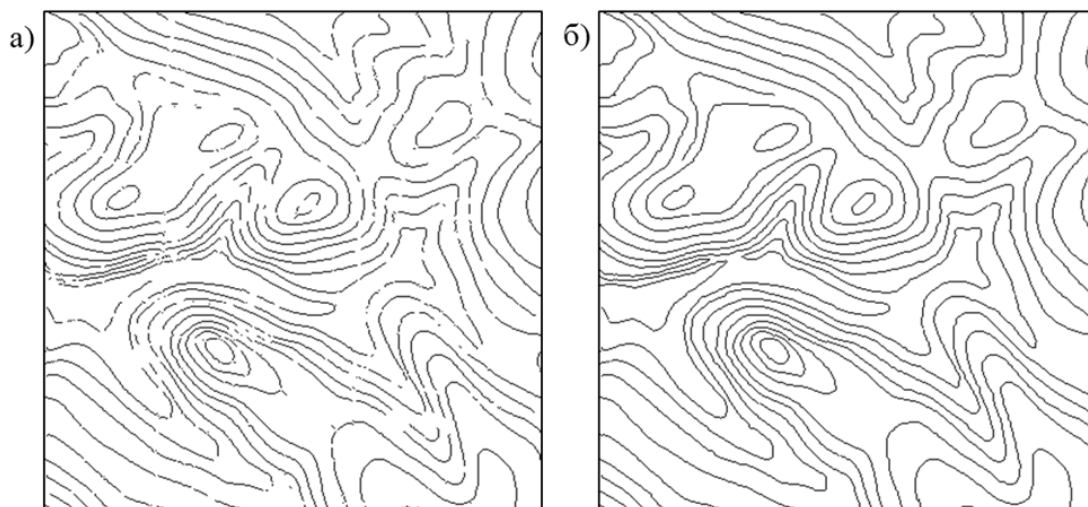


Рисунок 3. а) карта сегментов горизонталей;  
б) полученный восстановленный план горизонталей.

Таблица 1. Критерии качества для разных продукционных правил.

Учёт перекрытия	Сложность правил	Ошибка I-го рода	Ошибка II-го рода	F-мера с $\beta = 0,5$
Нет	Учёт координат	0,19	0,1	0,80
	Учёт касательных	0,06	0,04	0,94
	Учёт кривизны	0,03	0,02	0,97
Да	Учёт координат	0,14	0,12	0,85
	Учёт касательных	0,05	0,05	0,95
	Учёт кривизны	0,02	0,03	0,98

где  $TP$  — количество истинноположительных решений,  $FN$  — ложноотрицательных,  $FP$  — ложноположительных.

Критерии качества для продукционных правил различной сложности указаны в табл. 1. Из таблицы видно, что лучшие результаты возникают для полной продукционной системы правил, в которой учитывается максимальное количество характеристик. На рис. 3а приведены результаты предварительной обработки ТК. Результаты работы построенного алгоритма, использующего полную схему продукционных правил представлены на рис. 3б (восстановленный план начертания горизонталей).

В результате анализа было выяснено, что основными проблемами являются ложная пространственная близость и ложная согласование касательных, при которых продукционная система может неправильно соединять сегменты. Однако, количество таких ошибок значительно меньше, чем при учёте только пространственной близости. Авторами видится решение данных проблем

с помощью вычисления примерного уровня достоверности построенных УРС. Для пользователя УРС с плохой достоверностью могут быть выделены с помощью средств графического интерфейса.

Учёт цветов перекрытия горизонталей уменьшает ошибку первого рода с меньшим увеличением ошибки второго рода. Но, так как уменьшение ошибки первого рода является более важной задачей (особенно учитывая, что она больше относительно ошибки второго рода), то полученный результат можно считать удовлетворительным, учитывая, что F-мера также показывает лучшие результаты.

В целом построенный алгоритм адекватно обрабатывает ТК, учитывая их сложноструктурность, получая на выходе восстановленный план горизонталей, который может быть использован в дальнейшем для построения объёмной модели местности. Планируются дальнейшие исследования для уменьшения количества ошибок и последующей обработки ТК для получения геоинформационной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghircoias T., Brad R. Contour lines extraction and reconstruction from topographic maps / T. Chircoias, R. Brad // *UbiCC Journal*. — 2009. — V. 6. — p. 681–692.
2. Pradhan M. P. Knowledge based contour line reconnection techniques / M. P. Pradhan, M. K. Ghose, P. S. Rai, N. Mukherjee // *International Journal of Computer Applications*. — 2013. — V. 65 (9). — p. 37–42.
3. Береженко Д. Ю., Дулесов А. С. 3D моделирование местности и построение карты вершин по растровой топографической карте / Д. Ю. Береженко, А. С. Дулесов // *Перспективы науки*. — Тамбов: Тамбовпринт. — 2010. — № 3 (5). — с. 85–91.
4. Дедов С. В. Способ восстановления разрывов изолиний при создании цифровых моделей рельефа по топографическим картам / С. В. Дедов, А. М. Кадрелев, А. В. Кониченко, С. А. Орлов // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. — М.: Радиотехника. — 2015. — Т. 13. — № 6. — с. 26–31.
5. Дмитриев Н. В. Автоматизированная система преобразования топографических карт в геоинформационную модель / Н. В. Дмитриев // *Информационные технологии и нанотехнологии (конференция ИТНТ-2016)*. — Самара: Самарский научный центр РАН. — 2016. — с. 386–389.
6. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Сравнение методов сегментации пикселей топографических карт по типам объектов / В. С. Тарасян, Н. В. Дмитриев // *Известия Тульского государственного университета: технические науки*. — Тула: Тульский государственный университет. — 2016. — № 3. — с. 97–106.

---

© Тарасян Владимир Сергеевич (vtarasyan@gmail.com), Дмитриев Никита Владимирович (dmitrievnikita13@gmail.com).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИММУННОГО СТАТУСА ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ В ДО- И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMMUNE STATUS OF PATIENTS WITH BLADDER CANCER IN THE PRE- AND POSTOPERATIVE PERIOD

**Yu. Alyaev  
V. Grigoryan  
R. Ataulakhanov  
E. Shpot  
T. Soblirov**

*Summary.* The results of the comparative analysis of patients with bladder cancer in pre- and postoperative period. It is found that reducing the degree of differentiation of cancer of the bladder to moderate the high increases the number of activated HLA-DR + CD8 + T cells, while reducing the triple perforin content in these cells. These changes indicate a lengthy immune response reflecting early relapse or nonradical surgery.

*Keywords:* bladder cancer, immune status, HLA-DR + CD8 + T cells, postoperative relapse, perforin.

**Аляев Юрий Геннадьевич**

Д.м.н., профессор, Член-корреспондент РАМН, Директор клиники урологии им. Р.М. Фронштейна Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Зам. директора НИИ Уронефрологии и репродуктивного здоровья человека Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Заведующий кафедрой урологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

**Григорян Вагаршак Арамаисович**

Д.м.н., профессор кафедры урологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

**Атауллаханов Равшан Иноятович,**

Д.м.н., заведующий отделом государственного предприятия «Институт иммунологии Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем при Министерстве здравоохранения Российской Федерации», заведующий лабораторией активации иммунитета Института Иммунологии

**Шпот Евгений Валерьевич,**

К.м.н., доцент кафедры урологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

**Соблиров Тимур Барасбиевич**

Кафедра урологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова  
«ГНЦ институт иммунологии» ФМБА России  
tb03@bk.ru

*Аннотация:* Приведены результаты сравнительного анализа пациентов с раком мочевого пузыря в до- и послеоперационном периоде. Установлено, что снижение степени дифференцировки рака мочевого пузыря с высокой до умеренной приводит к увеличению количества активированных HLA-DR+CD8+ Т клеток, при одновременном трехкратном снижении содержания перфорины в этих клетках. Данные изменения указывают на наличие длительной иммунной реакции, отражающей ранний рецидив или нерадикальность оперативного вмешательства.

*Ключевые слова:* рак мочевого пузыря, иммунный статус, HLA-DR+CD8+Т-клетки, послеоперационный период, рецидив, перфорин

## Введение

Генетический аппарат клеток обладает сложной системой контроля деления, роста и дифференцировки клеток. Изучены две регулирующие системы оказывающие кардинальное влияние на процесс клеточной пролиферации: проонкогены и гены-супрессоры.

Система протоонкогенов и генов-супрессоров формирует сложный механизм контроля темпов клеточного деления, роста и дифференцировки. L.

В 80-х годах XX века в работах R.J. Ablin доказана роль иммунной системы в патогенезе рака мочевого пузыря [17].

Иммунный ответ организма на злокачественный рост представляет сложный комплекс процессов клеточного и гуморального звеньев иммунитета. Динамика опухолевого роста в значительной мере определяется равновесием между факторами иммунного надзора с одной стороны и пробластогенными факторами, способствующими опухолевому росту, с другой [5,21].

Выявлено несколько принципиальных механизмов, препятствующих формированию адекватного иммунного ответа на опухоль: иммунологическая толерантность, отсутствие протективных антигенов, опухоль-индуцированная периферическая селекция Т-лимфоцитов и нарушение функции иммунокомпетентных клеток в опухолевом очаге, а также изменение спектра цитокинов TIL [3,7].

Иммунный ответ при развитии опухоли нарушается как на этапе презентации антигена, так и на этапе реализации эффекторной функции. Первыми клетками, которые подвергаются атаке со стороны опухоли являются дендритные, основные функции которых: поглощение, процессинг и презентация антигенов эффекторным клеткам в составе молекул главного комплекса гистосовместимости (система MCH/HLA) в комбинации с костимулирующими молекулами [19,27].

Молекулы антигенов гистосовместимости II класса не экспрессируются большинством нормальных эпителиальных клеток и появляются только при определенных патологических состояниях, включая воспаление, аутоиммунную патологию и злокачественную трансформацию [25]. Снижение уровня экспрессии антигенов II класса одна из серьезных причин отсутствия противоопухолевой активности Т-хелперов (CD4+Т-лимфоцитов). Экспрессия HLA-антигенов II класса обязательна не только для осуществления процесса распознавания опухолевого антигена CD4+Т-лимфоцитами, но и для приобретения опухолевыми клетками таких свойств как туморогенность и иммуногенность [25]. Считается, что HLA-гены II класса классически наследуются в сцеплении с генами, непосредственно участвующими в патогенезе заболеваний [9]. Носительство определенных HLA-антигенов II класса связано с риском развития некоторых заболеваний у их носителей [1,4].

На поверхности опухолевых клеток также нарушен синтез селектинов (напр.: CD44, ELAM-1) и интегринов (напр. GP3a), что коррелирует с плохим прогнозом заболевания [3,11]. Показано, что носительство аллельного гена PLA2, кодирующего b3 субъединицу интегрин GP3a, коррелируется с плохим прогнозом РПЖ в отношении инвазивного роста и метастазирования [13].

Одним из основных факторов, подавляющих функции лимфоцитов, находящихся в микроокружении опухоли, являются ганглиозиды (GD1a, GD2, GD3, GM1, GM2), экспрессирующиеся на поверхности опухолевых клеток и сливающиеся в межклеточное пространство. Эти ганглиозиды обладают способностью подавлять функции TIL, вмешиваясь в процессы трансдукции сигнала внутрь клетки. В ткани РПЖ увеличивается экспрессия GD1a и снижается экспрессия GD3. Увеличение титра IgA

к GD1a может являться «сигналом опасности» развития РПЖ [26].

На ранних стадиях заболевания основную роль в противоопухолевой защите играют цитотоксические CD8+Т-лимфоциты. Такая ситуация сохраняется лишь до тех пор, пока на поверхности опухолевой клетки в достаточном количестве экспрессируются молекулы главного комплекса гистосовместимости первого класса. По мере прогрессирования процесса снижается интенсивность экспрессии этих молекул вплоть до их полной потери и тогда основную роль в защите начинают играть NK-клетки, которые осуществляют антигеннезависимый лизис опухолевых клеток. NK-клетки обеспечивают естественную противоопухолевую защиту, ликвидируя клетки любых опухолей, независимо от наличия специфических антигенов на их поверхности, хотя эффективность их воздействия на клетки различных новообразований может существенно отличаться [6].

Натуральные киллеры представляют собой большие гранулярные лимфоциты, имеющие на поверхности ряд антигенных маркеров, характерных для макрофагов, Т-лимфоцитов, а также «собственных» антигенов-свидетелей, однако последние не являются строгоспецифичными для NK-клеток [10]. Интереснейшая проблема NK-надзора — это механизм цитотоксического эффекта. Здесь наряду с активирующим влиянием на ферменты деградации макромолекул рассматривается и возможность использования механизма «кислородного взрыва», характерного для проявления макрофагальной цитотоксичности [18,20,23].

Несмотря на наличие эффективных механизмов функционирования NK-клеток в большинстве случаев иммунная система организма не способна самостоятельно справиться с опухолью. Это связано, по-видимому, с тем, что на ранних этапах развития опухолевая ткань не распознается как чужеродная, а на более поздних — суммарное количество опухолевых клеток значительно превышает количество натуральных киллеров [15,16].

Под действием клеток опухоли функция TIL настолько изменяется, что вместо протективной функции они начинают способствовать опухолевой прогрессии. Известно, что TIL, выделенные из опухоли, имеют другое соотношение синтезируемых цитокинов, чем TIL, культивированные *in vitro* [2,8]. В частности, наблюдается повышенная экспрессия IL-6, являющегося фактором роста для некоторых опухолей, TGF-b, IL-10 [24]. В ряде случаев эти клетки начинают секретировать факторы роста сосудов (VEGF, EGF) и IL-8, обладающие ангиогенными свойствами и способствующие опухолевой прогрессии [3].

В последнее время активно обсуждается концепция, согласно которой в процессе возникновения и развития опухоли происходит, прежде всего, нарушение баланса между секрецией проопухолевых (IL-6, кислотолабильная фракция ИФН- $\alpha$ , ИФН- $\beta$ ), противоопухолевых (IL-2, кислотостабильная фракция ИФН- $\alpha$ , ИФН- $\beta$ , TNF- $\alpha$ ), а также регуляторных (ИФН- $\gamma$ ) цитокинов [14].

Интерферонам принадлежит ключевая роль в активации естественной цитотоксичности. Все типы ИФН стимулируют натуральные киллеры, составляющие основу естественной цитотоксичности. Преинкубация натуральных киллеров с интерфероном повышает их способность «прилипнуть» к клеткам-мишеням, увеличивает количество рецепторов, повышающих адгезивные свойства киллеров по отношению к раковым клеткам [12,22].

## Материал и методы

В исследование включено 60 больных РМП. Из них, мужчин — 39 (65%), женщин — 21 (35%). У всех больных диагноз РМП верифицирован гистологически при биопсии опухоли после цистоскопического исследования или после выполненного оперативного вмешательства (ТУР). В исследуемую группу включено 27 (45%) пациента с поверхностным раком мочевого пузыря, перенесших ТУР, немедленную однократную инстилляцию митомицина С и последующую системную и внутривезикулярную иммунотерапию. Контрольную группу составили 25 (41,7%) больных, которым выполнена стандартная ТУР, немедленная однократная инстилляцией митомицина С. 8 больным (13,3%) с инвазивным раком МП, которым выполнена биопсия стенки мочевого пузыря, произведена оценка иммунного статуса. В этой группе иммунотерапия не проводилась.

Возраст больных составил 26–80 лет, средний возраст —  $60,5 \pm 8,5$  лет, медиана — 61 год, интерквартильный размах — 54,5–67 лет.

Для стадирования опухолевого процесса использовали классификацию ВОЗ по системе TNM от 2009 года. Для оценки вероятности возникновения рецидива или прогрессирования опухоли, с целью определения у каждого больного группы риска — таблицы, а также электронный калькулятор, разработанные Европейской организации по изучению и лечению рака в 2004–2006 гг.

У 52 больных, включенных в исследование, определялась I стадия опухолевого процесса; у 8 — имел место инвазивный рак мочевого пузыря. Степень инвазии оценивалась при УЗ-исследовании абдоминальным датчиком, а также магнитно-резонансной и мультиспиральной компьютерной томографии. Всем больным, включенным в исследование, выполнен ТУР мочевого пузыря. Из об-

щего числа больных, с папиллярной опухолью, не прорастающей в собственную пластинку (Ta) — 11 (21,1%), с инвазией в субэпителиальную основу (T1) — 41 (78,9%) пациентов.

У всех больных при морфологическом исследовании выявлен переходно-клеточный РМП. В зависимости от дифференцировки опухоли больные распределились следующим образом: высокодифференцированная (G1) отмечена у 38 (63,3%) больных, умеренно дифференцированная (G2) — у 18 (30%), низкодифференцированная (G3) — у 4 (6,7%), (рисунок 2.6).

Немаловажным аспектом в определении группы риска больного является количество опухолевых очагов в полости мочевого пузыря. Одиночная опухоль выявлена у 38 (63,3%) больных, от 2 до 5 опухолевых очагов — у 18 (30%) и у 4 (6,7%) пациентов — 5 и более. Среднее количество опухолей составило —  $2,3 \pm 2,4$  (1–8), медиана — 1, интерквартильный размах — 1–3.

У всех больных на дооперационном этапе определяли размер опухоли посредством УЗИ, ТРУЗИ, МРТ, цистоскопии. Полученные данные распределялись на 2 значения: опухоли до 3 см и опухоли больше или равные 3 см. В первом и во втором случаях было — 45 (75%) и 15 (25%) больных соответственно.

Таким образом, у большинства из 52 больных, включенных в исследование, определялись первичные, одиночные опухоли с низкой степенью злокачественности, с прорастанием в субэпителиальный слой, размером до 3 см. Дополнительно стоит отметить, что ни у одного из исследуемых больных наличия рака *in situ* не выявлено. Согласно номограммам EORTC представленная характеристика опухолей у всех больных, включенных в исследование, соответствуют промежуточной группе риска.

Исследование иммунного статуса у больных раком мочевого пузыря проводилось до и через 2 недели после проведенного оперативного лечения.

## Результаты

Сравнительный анализ показал достоверное снижение количества активированных HLA-DR<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup> Т клеток в послеоперационном периоде у 67% больных (Рисунок 1). Также отмечено умеренное повышение количества лимфоцитов у 34% больных (Рисунок 2).

У 79% пациентов было повышено количество активированных CD8+CD25+Т клеток с экспрессированной на поверхности CD8+Т-клеток молекул CD25 ( $\alpha$ -цепь рецептора интерлейкина-2).

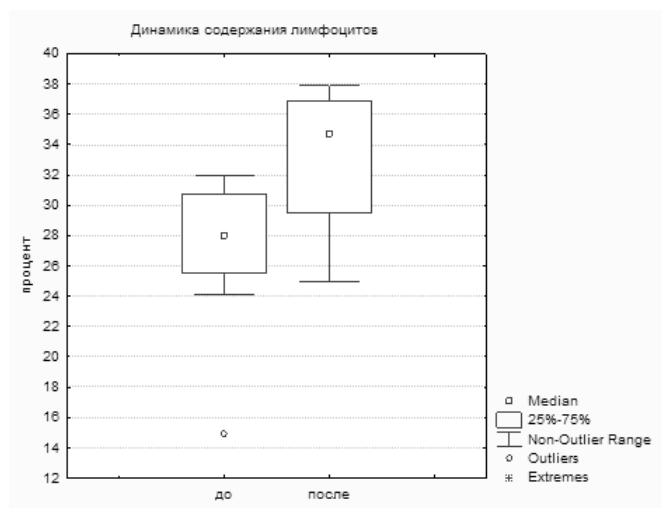


Рисунок 1. Изменение количества лимфоцитов у больных раком мочевого пузыря до и после оперативного лечения

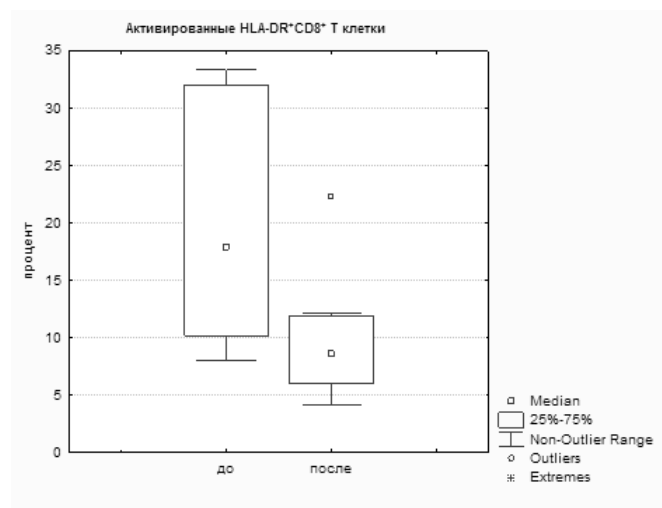


Рисунок 2. Изменение количества активированных HLA-DR+CD8+ Т клеток у больных раком мочевого пузыря до и после оперативного лечения

У больных раком мочевого пузыря выявлены иммунологические отличия в зависимости от злокачественности опухолевого процесса. Количество активированных HLA-DR+CD8+ Т клеток достоверно было выше у пациентов с инвазивным раком мочевого пузыря.

У пациентов с рецидивом рака отмечалось замедление дифференцировки CD8+Т-клеток: на фоне повышения количества «наивных» CD8+45RA+Т-клеток (61,28% больных) количество CD8+CD45RA-RO+ Т-клеток, «стареющих» после реакции на антиген, было снижено у 28% больных.

### Обсуждение

Проведенных иммунологические тесты у больных раком мочевого пузыря доказали наличие ряда иммунных нарушений. В частности, выявлено диспропорция между изотипами в популяции NK-клеток. Количество CD16+56-NK (NK-клеток с низкой цитолитической активностью) оказалось значительно выше верхней границы нормы у 74% больных ( $K_m = 2,8$ ), в то время как число CD16+56+NK (т.е. NK-клеток с умеренной цитолитической активностью, которые составляют большую часть естественных киллеров) было снижено у 47% больных.

При анализе популяционного состава лимфоцитов у больных раком мочевого пузыря статистически значимых количественных изменений выявлено не было, однако отмечались функциональные отклонения. Число активированных HLA-DR+CD4+Т-клеток в периферической крови было повышено у 68% больных. Это происходило за счет уменьшения количество «наивных» CD4+CD45RA+/RO- Т клеток и перехода их в зрелые

клетки «памяти» CD4+CD45RA-/RO+. У 89% больных значительно нарастало содержание CD4+28- Т клеток, потерявших рецепторы CD28 после антигенной активации. У обследованных нами больных раком мочевого пузыря было обнаружено значительное увеличение популяции регуляторных CD4+25+Т-клеток, что указывает на наличие у них длительного иммунного процесса.

Общее количество CD8+ Т-клеток в периферической крови больных раком мочевого пузыря оставалось в пределах нормы. Вместе с тем, отмечались различные изменения, свидетельствующие о вовлечении данной популяции в патологический процесс. Отличительной особенностью CD8+ Т клеток у больных данной группы было массовый переход в зрелые формы -CD8+28- Т клетки, потерявшие рецепторы CD28 после активации.

Сравнительный анализ иммунного статуса пациентов показал, что снижение степени дифференцировки рака мочевого пузыря с высокой до умеренной приводит к увеличению количества активированных HLA-DR+CD8+ Т клеток, при одновременном трехкратном снижении содержания перфорина в этих клетках. Это свидетельствует о возникновении недостаточности цитолитических свойств CD8-клеток по мере прогрессирования опухолевого процесса и снижении степени дифференцировки.

### Заключение

Данные изменения указывают на наличие длительной иммунной реакции, отражающей, по всей видимости, ранний рецидив или нерадикальность оперативного вмешательства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Л. П. Система Ia-антигенов. Генетика, структура, функция //Иммунология.-1988.-№ 6.-С.29–31.
2. Бережная Н.М., Чехун В. Ф. Иммунология злокачественного роста. — Киев: Наукова Думка, 2005. — 792с
3. Головизин М. В. Вмешательство раковых клеток в процессы созревания и селекции Т-лимфоцитов как фактор опухолевой прогрессии //Иммунология. — 2001. — № 6. — С. 4–10.
4. Зарецкая Ю. М. Иммунология тканевой несовместимости. — М.: Медицина, 1983. — 208с.
5. Климович В. Б. Моноклональные антитела на основе репертуара иммунного ответа мышей линии SJL/J //Медицинская иммунология.-1999.-Т.№ 1–2 (1).
6. Кузнецов В.П. и др. Концепция иммунокоррекции при многофакторных иммунодефицитных состояниях, инфекционных и онкологических заболеваниях //Микробиология. — 1996. — № 5. — С. 104–110.
7. Молчанов О. Е., Попова И. А., Козлов В. К., 2001. Современные прогностические системы в оценке эффективности системной химиоиммунотерапии. — // *Медицинская иммунология.-2001.-Т.3.-№ 2.-С.301.*
8. Молчанов О.Е., Попова И. А., Козлов В. К. Современные прогностические системы в оценке эффективности системной химиоиммунотерапии //Медицинская иммунология.-2001.-Т.3.-№ 2.-С.301
9. Наумов Ю. Н. Структура генов и антигенов HLA человека 12 классов //Иммунология. — 1994.-№ 2(48).-С.45–48.
10. Павлович С. А. 1997. *Основы иммунологии.* 1997.
11. Пальцев М. А., Иванов А. А. Межклеточные взаимодействия.-М.: Медицина, 1985
12. Ройт А., Бростофф Д., Мэйл Д. Иммунология.-М.: Издательство: Мир ISBN: 5–03–003305-Х. — 2000.-593с.
13. Серегин А. А., 2005. Клиническое значение аллельного распределения гена интегрина GP3A при раке предстательной железы: автореф. дис. . . . канд. мед наук. — М., 2005.-26с.
14. Цыган В. Н. Введение в молекулярную биологию канцерогенеза: учебное пособие /Под ред. Ю. Л. Шевченко. — М.: Гэотар-мед, 2004.
15. Эпштейн О.И., Шерстобоев Е. Ю., Мартюшев-Поклад А. В. Иммунология и аалергология.-М., 2004.
16. Яриллин А. А. Основы иммунологии.-М.: Медицина. — 2000.-608с.
17. Ablin R. J. Prostate antigen(s) //J Natl Cancer Inst.-1981. — Nov.67(5):992.
18. Brutkiewicz R.R., Sriram V. Natural killer T(NKT) cells and their role in antitumor immunity //Crit Rev Oncol Hematol.-2002. — Mar. 41(3):287–98.
19. Davies HT. Exploring the pathology of quality failings: measuring quality is not the problem — changing it is. //J Eval Clin Pract.-2001. — May;7(2):243–51.
20. Hameg A., Apostolou I. [et al]. A subset of NKT cells that lacks the NK1.1 marker, expresses CD1d molecules, and autopresents the alpha-galactosylceramide antigen //J Immunol.-2000.-Nov.1;165(9):4917–26
21. Hellstrom J.G., Chambers D. C., Bradley W.R AIDS: recent events //Med Sect Proc.-1985.-P.69–77.
22. Hersey P, Schibeci S. D. [et al]. Potentiation of lymphocyte responses by monoclonal antibodies to the ganglioside GD3. //Cancer Res.-1986.- Dec;46:12 Pt1.
23. Hong C., Park S. H. Application of natural killer T cells in antitumor immunotherapy //Crit Rev Immunol.-2007. — 27(6):511–25
24. Kim O., Jiand T., Xie Y. et. al. Synergism of cytoplasmic kinases in IL6-induced ligand-independent activation of androgen receptor in prostate cancer cells //Oncogene.-2004. — Mar 11;23(10):1838–44
25. Loeb S, Folkvaljon Y. [et al]. Evaluation of the 2015 Gleason Grade Groups in a Nationwide Population-based Cohort. //Eur Urol.-2015.-Dec17.pii: S0302–2838(15)01207–5.
26. Ravindranath M.H., Jucaud V., Maehara C. Y., Terasaki P.I Significance of the differences in the prevalence of anti-HLA antibodies in matched pairs of mother's and cord blood //Immunol Lett./-2015/- Dec 22;170:68–79.
27. Sumar N., Isenberg D. A. [et al]. Reduction in IgG galactose in juvenile and adult onset rheumatoid arthritis measured by a lectin binding method and its relation to rheumatoid factor //Ann Rheum Dis.-1991-Sep;50(9):607–10.

© Аляев Юрий Геннадьевич, Григорян Вагаршак Арамаисович,

Атауллаханов Равшан Иноятович, Шпоть Евгений Валерьевич, Соблиров Тимур Барасбиевич (tb03@bk.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## НАУЧНО-ОБОСНОВАННАЯ СИСТЕМА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ДЕТЯМ РАННЕГО ВОЗРАСТА

### SCIENCE-BASED SYSTEM TO IMPROVE MEDICAL CARE FOR YOUNG CHILDREN

**N. Afanasieva  
M. Semenina**

*Summary.* Modern children have lower levels of health than their peers a few decades ago. And it is children's health can serve as an indicator of social well-being and the attitude towards them of the state determines the degree of its civilization. In the current environment, are important research aimed at developing measures to improve health outcomes of the child population, improving the organization of health care, improve its quality, the search for optimal organizational forms.

*Keywords:* improvement of medical care, neonatology service, care for the newborn children, including premature infants.

**Афанасьева Наталья Викторовна**

Ассистент, ФГБОУ ВО Первый МГМУ им.И.М. Сеченова

Минздрава России

*nmanatasha1972@mail.ru*

**Семёнкина Марта Валентиновна**

Студент, Московский медицинский колледж № 1

*Аннотация.* Современные дети имеют более низкий уровень здоровья, чем их сверстники несколько десятилетий назад. А ведь именно здоровье детей может служить индикатором социального благополучия, а отношение к ним государства определяет степень его цивилизованности. В сложившихся условиях большое значение приобретают исследования, направленные на разработку мер по улучшению показателей здоровья детского населения, совершенствование организации медицинской помощи, повышение её качества, поиск оптимальных организационных форм.

*Ключевые слова:* совершенствование медицинской помощи, неонатологическая служба, помощь новорожденным детям, в том числе недоношенным.

**Н**естабильность социально-экономической обстановки последних лет заметно ухудшила положение детей и возможности семьи по их жизнеобеспечению и развитию. Современные дети, по мнению многих авторов, имеют более низкий уровень здоровья, чем их сверстники несколько десятилетий назад. А ведь именно здоровье детей может служить индикатором социального благополучия, а отношение к ним государства определяет степень его цивилизованности. В сложившихся условиях большое значение приобретают исследования, направленные на разработку мер по улучшению показателей здоровья детского населения, совершенствование организации медицинской помощи, повышение её качества, поиск оптимальных организационных форм [1].

Благодаря современным достижениям в неонатологии в настоящее время выживает все больше недоношенных детей с низкой и экстремально низкой массой тела при рождении. К моменту выписки из стационара эти дети готовы к домашнему уходу, но им требуется специальное педиатрическое наблюдение. [2]

В мировой практике и в нашей стране создана и развивается система оказания помощи новорожденным и, в частности, недоношенным детям. Недоношенные дети, достигшие массы тела 2000 г., выписываются домой под наблюдение врача амбулаторно-поликлинической службы. Частота переводов в неврологические стационары детей с гипоксически-ишемическим поражением

ЦНС становится все меньше в связи с тем, что необходимое лечение дети получают в неонатальном стационаре.

Ни само заболевание, ни общие проблемы, связанные с недоношенностью и незрелостью, на этом не заканчиваются, и прогноз развития ребенка, по-прежнему остается непредсказуемым. Акцент участковых педиатров приходится на патологии нервной и дыхательной систем.[4]

В результате клинических наблюдений и научных исследований стало ясно, что после того, как недоношенные дети подготовлены к домашнему уходу, у них остается множество проблем, сохраняя свое влияние практически на всю жизнь.[8]

В первые два года жизни у недоношенных детей могут наблюдаться следующие изменения со стороны органов и систем:

- ◆ гипоксически-ишемическое поражение ЦНС;
- ◆ нарушения нейросенсорного аппарата;
- ◆ дыхательные расстройства (БЛД);
- ◆ кардиопатия;
- ◆ постгипоксическая нефропатия;
- ◆ дисфункция ЖКТ;
- ◆ низкие показатели физического развития.

В данный период возникает необходимость проведения дифференциального диагноза с генетическими синдромами.

На третьем году жизни существуют следующие особенности:

- ◆ позднее становление активной речи;
- ◆ особенности развития коммуникативности;
- ◆ проблемы усидчивости и восприятия;
- ◆ трудности развития ассоциативного и логического мышления;
- ◆ ложности формирования мелкой моторики
- ◆ низкие показатели физического развития.

Одним из качественных показателей, характеризующих здоровье детей раннего возраста, является заболевание. Важным разделом работы врачей-педиатров и неонатологов является анализ заболеваемости новорожденных в родильных домах.

В связи с этим, одной из актуальных проблем здравоохранения на современном этапе является совершенствование амбулаторно-поликлинической помощи, путем периодических профилактических осмотрах лиц молодого и среднего возраста, с применением высокотехнологичного диагностического медицинского оборудования, для своевременной постановки диагноза. В свою очередь, в неонатологической службе так же важно иметь широкий спектр, как высокотехнологичного медицинского оборудования, так и лабораторной диагностики, что ускорит раннюю диагностику заболевания детей раннего возраста, недоношенных детей, а так же при необходимости оказания им стационарной помощи. При оценке совершенствования медицинской помощи большое значение имеет правильный выбор направлений, которые должны быть объективными, специфичными, универсальными, сопоставимыми и доступными для применения.[2]

За последние годы опубликован ряд работ по изучению состояния здоровья и амбулаторно-поликлинической помощи детям, однако до настоящего времени недостаточно исследований, посвященных организации стационарной помощи детям раннего возраста. Необходимо разработать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию организации и повышению качества стационарной помощи детям раннего возраста. Совершенствование медицинской помощи детям ран-

него возраста должно заключаться во взаимодействии амбулаторно-поликлинической помощи и стационара круглосуточного пребывания. Должна быть предусмотрена возможность дистанционного заочного консультирования, в том числе и телемедицин.

Одним из качественных показателей, характеризующих здоровье детей раннего возраста, является заболевание. Важным разделом работы врачей-педиатров и неонатологов является анализ заболеваемости новорожденных в родильных домах. [7]

В связи с этим, одной из актуальных проблем здравоохранения на современном этапе является совершенствование амбулаторно-поликлинической помощи, путем периодических профилактических осмотрах лиц молодого и среднего возраста, с применением высокотехнологичного диагностического медицинского оборудования, для своевременной постановки диагноза. В свою очередь, в педиатрической службе так же важно иметь широкий спектр, как высокотехнологичного медицинского оборудования, так и лабораторной диагностики, что ускорит раннюю диагностику заболевания детей раннего возраста, а так же при необходимости оказания им стационарной помощи. [1,3]

Таким образом, данная система совершенствования медицинской помощи детям раннего возраста соответствует современной концепции развития здравоохранения и медицинской науки в Российской Федерации и состоит в определении путей перехода здравоохранения к качественно новому уровню, перенесения акцента с лечения на профилактику, со стационарной помощи — на амбулаторно-поликлиническое звено. [5,6]

Разработка и внедрение научно-обоснованной системы совершенствования медицинской помощи детям раннего возраста позволит осуществлять эффективный контроль состояния их здоровья, определять прогноз для жизни и формирования отклонений в развитии, повысить качество медицинской и социальной реабилитации, даст возможность решения актуальной задачи здравоохранения — снижения инвалидности и смертности среди детского населения. [8]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова Г.Н., 1998; Ваганов Н. Н., 1998; Володин Н. Н. и соавт., 2001 Преемственность оказания медицинской помощи и наблюдение в постнатальном периоде.
2. Володин Н.Н., Неонатология 2008 г.
3. Коломенская А.Н., Александрова Н. К., 2006 Опыт реабилитации в домашних и амбулаторных условиях новорожденных с перинатальным поражением ЦНС.
4. Кореновский Ю.В., Горбенко Е. В., Варшавский Б. Я., Фадеева Н. И. Патент № 2289136. Российская Федерация. Способ ранней диагностики перинатального поражения центральной нервной системы у новорожденных Изобретения. Полезные модели. — 2006. — № 34.

5. Савельева Г.М., Кулаков В. И., Серов В. Н. Современные подходы к диагностике, профилактике и лечению гестоза: методические рекомендации МЗ РФ № 99/80 — М., 1999. — С. 27.
6. Стрижова Н. В. и соавт. 1989; Савельева Г. М., Сичинава Л. Г., 1995 Анламазян Э. К. и соавт. 1997; J. John et al» 1990; E. Amonetal., 1991; Y. R. Barton et al., 1994; H. Welsch et al., 1994.
7. Сотникова Н.Ю., Панова И. А., Серкина Е. В., Кудрявцева А. В. Патент № 2308035. Российская Федерация. Способ ранней диагностики перинатальных гипоксических поражений ЦНС у доношенных новорожденных от женщин с гестозом. Изобретения. Полезные модели. — 2007. — № 28.
8. Филькина О.М., Чаша Т. В., Самсонова Т. В. Перинатальные поражения нервной системы и их последствия у детей: клиника, прогнозирование, диагностика, профилактика и коррекция, соматическое здоровье. Иваново, 2007. — С. 238.

© Афанасьева Наталья Викторовна ( mmanatasha1972@mail.ru ), Семёнкина Марта Валентиновна.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»





# ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ КОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕДИАЛЬНОГО МЫШЦЕЛКА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

## FUNCTIONAL RESULTS AFTER PRIMARY KNEE ARTHROPLASTY WITH MODULAR BLOCKS FOR REPLACEMENT OF MEDIAL CONDYLE BONE DEFECTS OF THE TIBIA

**N. Zagorodniy**  
**A. Ivashkin**  
**F. Aude**  
**N. Zaharyan**  
**R. Stepanyan**  
**S. Bezverhij**  
**R. Aliev**

*Summary.* This article represents experience of using modular metal blocks for knee replacement for the replacement of defects of the tibia. Authors analyzed the results of the using of blocks that replace defect of the medial condyles tibia bone, from 2010 to 2016 years. There were twogroup of patients: comparison group and control group (the first group consist of 100 patient without defect of the condyle tibia. This patients a standard knee replacement was performed; the second group consist of 32 patient with the defects of the medial condyles tibia bone. In second group was performed a knee replacement with the using of blocks that replace defect of the medial condyles tibia bone. Periods of studies were from 2 years till 6 years. Scale KSS was applied for the evaluation of the results. Among the patients were women (90–68%), nearly one third (42–31,8%) — men, mean age — 68.4 years. Similar demographics were occurred in all groups, however, a comparative evaluation on the scale of the study and control groups in the preoperative period revealed significant differences. In the postoperative period results were similar in all groups. The applying of modular units for replacement of defects of the medial condyle of the tibia bone during knee replacement is a simple and effective method, shown with significant bone defects — more than ½ the area of the condyle, a depth of 10 mm, which is an alternative to bone grafting and allowing early activation of patients.

*Keywords:* osteoarthritis, osteonecrosis, modular block, knee replacement.

**Загородний Николай Васильевич**

Член-корреспондент РАН,  
Д.м.н., профессор, РУДН,

Руководитель Клиники эндопротезирования  
ФГБУ ЦИТО им. Н. Н. Приорова,

Руководитель клиники травматологии  
И ортопедии ГКБ № 31  
dr.lomjaria@mail.ru

**Ивашкин Александр Николаевич**

К.м.н., профессор, РУДН

**Ауде Фади Салемович**

Аспирант, РУДН

**Захарян Норайр Грайрович**

К.м.н., заведующий отделением ГКБ № 31,

**Степанян Рубен Вачаганович**

Аспирант, РУДН

**Безверхий Сергей Владимирович**

Аспирант, РУДН

**Алиев Расул Николаевич**

К.м.н., ассистент, РУДН

*Аннотация.* В данном исследовании обобщен опыт применения модульных металлических блоков при эндопротезировании коленного сустава для замещения дефектов мышцелков большеберцовой кости. Проведён анализ результатов использования блоков, замещающих дефекты медиальных мышцелков большеберцовой кости, с 2010 по 2016 г. Оценивали две группы пациентов: первая группа — 100 пациентов без мышцелковых дефектов, которым было выполнено стандартное первичное эндопротезирование коленного сустава; вторая группа — 32 пациента, у которых эндопротезирование сочетали с замещением костных дефектов медиального мышцелка большеберцовой кости модульными блоками. Сроки наблюдения составили от 2 до 6 лет. Результаты оценивались по шкале KSS (KneeSocietyScore). Во всех группах преобладали женщины — 90 (68,1%), мужчин было 42 (31,8%), средний возраст пациентов — 68,4 лет. Однако сравнительная оценка по шкалам основной и контрольных групп в дооперационном периоде выявила существенные различия. В послеоперационном периоде результаты оценки оказались схожими в обеих группах. Применение модульных блоков для замещения дефектов медиального мышцелка большеберцовой кости при эндопротезировании коленного сустава — простой и эффективный метод, который показан при значительных костных дефектах, составляющих более ½ площади мышцелка, глубиной более 10 мм. Он является альтернативой костной пластике и дает возможность ранней активизации пациентов.

*Ключевые слова:* остеоартроз, остеонекроз, модульный блок, эндопротезирование коленного сустава.

## Введение

Одним из важных факторов формирования дефектов и развития грубых деформаций является асептический некроз мыщелков, который, по данным различных авторов, составляет от 8 до 22% всех дегенеративно-дистрофических заболеваний коленного сустава [1,3,4,5,6,7]. По мнению J.N. Insall, наличие и локализация мыщелкового дефекта определяют характер деформации коленного сустава [5]. Патогенез образования костных дефектов обусловлен микроциркуляторными нарушениями кровоснабжения участка мыщелка, в результате чего происходит повреждение остеоцитов с последующим разрушением суставного хряща. Это приводит к увеличению нагрузки на губчатую кость мыщелков и в последующем вызывает боли и формирование компенсаторного склеротического ореола вокруг очага остеонекроза [1,9]. Рентгенологическая картина (рис. 1) завершающей стадии заболевания соответствует терминальной стадии деформирующего артроза с наличием дефекта костной ткани мыщелка в зоне остеонекроза [8,9]. Цель исследования — сравнение отдаленных результатов эндопротезирования коленного сустава у больных с остеонекрозом медиального мыщелка большеберцовой кости, которым для коррекции мыщелкового дефекта применяли модульные блоки, с отдаленными результатами эндопротезирования в контрольной группе пациентов с первичным остеоартрозом, в которой при эндопротезировании коленного сустава не требовалось корректировать костные дефекты.

## Материал и методы

Проведен анализ результатов обследования и лечения 132 пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями коленного сустава, проходивших лечение в ГКБ № 31 в период с 2010 по 2016 г. Все исследуемые пациенты были разделены на 2 группы: основная 32 пациента с асептическим некрозом медиального мыщелка большеберцовой кости, который замещен при эндопротезировании модульным блоком; контрольная группа 100 пациентов с первичным гонартрозом, у которых при эндопротезировании не выявили массивных костных дефектов, требующих замещения. На дооперационном этапе всем больным выполняли тщательное клиническое (опрос, осмотр, объективное обследование коленного сустава, измерение бедренно-большеберцового механического угла, амплитуды движений, балльная оценка по шкале KSS) и инструментальное обследования коленного сустава (рентгенография, по показаниям — магнитно-резонансная томография). В основной группе из 32 пациентов женщин было 20 (62,5%), мужчин — 12 (37,5%). Возраст пациентов от 32 до 81 лет, в среднем 66,3 лет. В контрольной группе: женщин — 71 (71%), мужчин — 29 (29%); возраст от 38 до 81, в сред-

нем 69,1 лет. Все исследуемые больные не имели предшествующих хирургических вмешательств в области поражённого сустава и ближайших сегментов. Анамнестических данных о переломах бедренной и большеберцовой костей также не получено. Варусная деформация коленного сустава наблюдалась у всех пациентов.

Оптимальным способом хирургического лечения V стадии асептического некроза мыщелков и других дегенеративно-дистрофических заболеваний коленного сустава у пациентов старших возрастных групп является эндопротезирование [10]. Факторами, определяющими успех эндопротезирования коленного сустава, являются восстановление уровня интерлинии, коррекция оси конечности и устранение деформации [4]. Соответственно, при эндопротезировании коленного сустава, наряду с рациональной мобилизацией мягкотканых и связочных структур внутреннего отдела, имеется необходимость в замещении зоны костного дефекта поражённого мыщелка для обеспечения полноценной опорной площадки (костного ложа) большеберцового компонента. Соблюдение этих условий обеспечивает корректное расположение и взаимоотношение компонентов эндопротеза и обеспечивает оптимальный результат [14].

В основной группе медиальное отклонение оси конечности во фронтальной плоскости составляло от 173° до 157°, в среднем 162°. Несколько меньшие средние значения отклонения оси были в контрольной группе — от 173° до 166°, в среднем 169°. У всех пациентов в дооперационном периоде в той или иной степени отмечалась сгибательно-разгибательная контрактура. Амплитуда движений в коленном суставе в основной группе при дооперационном обследовании в среднем составила  $59 \pm 2^\circ$  ( $n = 32$ ), в контрольной группе —  $85 \pm 2^\circ$  ( $n = 100$ ). При оценке по шкале KSS: объективная оценка коленного сустава в основной группе в среднем составила 43 балла, а функциональная — 32. В контрольной группе средние показатели объективной оценки составили 54 балла, а функциональной — 39 баллов.

## Рентгенологические методы исследования больных

Изучая стандартные рентгенограммы, особое внимание обращали на наличие зоны остеонекротического поражения мыщелков (рис. 1), отделяемой от непоражённой кости полосой просветления и более контрастной по сравнению с окружающей костной тканью, которая сохраняет обычную структуру или становится несколько порозной. На границе участка асептического некроза ход костных балок прерывается.

При рассасывании некротизированной кости и замещении ее декальцинированной тканью на рентге-

нограмме чётко определяется очаг просветления. Отложение в замещающей ткани солей кальция создает на рентгенограмме картину неравномерного обызвествления. Иногда на месте остеонекроза могут формироваться ограниченные кистовидные полости, в ряде случаев некротический участок приобретает вид секвестра. По рентгенограммам с учётом клинической картины устанавливали стадию остеонекротического поражения мыщелков.

При наличии дефектов на мыщелках большеберцовой кости их характеристики оценивались по следующим показателям: Н — глубина (расстояние между плоскостью неповреждённого участка суставной поверхности мыщелка и наиболее углублённым в толщу мыщелка участком дефекта);  $S = Df \times Ds$  — площадь поражения (умножение диаметров остеонекротического очага на рентгенограммах во фронтальной и сагиттальной проекциях); отношение между размером некротического очага и шириной мыщелка в переднезадней (фронтальной) проекции (в процентах):  $G = F_n / F_c \times 100\%$ , где  $F_n$  — размер  $\frac{1}{2}$  мыщелка,  $F_c$  — размер всего мыщелка. На дооперационных рентгенограммах при оценке мыщелковых дефектов у 15 пациентов (46,8%) площадь дефекта составила  $\frac{1}{2}$  мыщелка, у 5 (15,6%) — дефект занимал более  $\frac{2}{3}$  всего мыщелка и у 12 пациентов (37,5%) — площадь дефекта составила  $\frac{1}{3}$  мыщелка. Для замещения дефектов были использованы блоки следующих размеров: 12 (37,5%) аугментов высотой 5 мм, 20 (62,5,6%) аугментов высотой 10 мм. В дальнейшем определяли тактику лечения, подбирали ориентировочные размеры компонентов эндопротеза, планировали метод коррекции дефектов мыщелков. В 26 (81,25%) случаях установки модульного блока, при явлениях выраженного остеопороза мыщелков, производилась установка интрамедуллярных прямых или оффсетных ножек для разгрузки зоны контакта компонента эндопротеза с плато большеберцовой кости путем канальной фиксации ножки.

### Техника операции

Оперативные вмешательства проводили под спинномозговой анестезией в сочетании с эпидуральной или под эндотрахеальным наркозом. В положении больного лежа на спине после артротомии производили артролиз сустава, после чего голень сгибали до острого угла. В ходе хирургического вмешательства при строгом соблюдении последовательности этапов операции выделяли мыщелки. Оценивали величину дефекта штангенциркулем или измерителем и линейкой, принимали решение о тактике коррекции. Всем больным исследуемой группы были имплантированы анатомические эндопротезы NexGen Zimmer (США). Стандартные большеберцовые компоненты этой модели эндопротеза версии



Рисунок 1. Первичный правосторонний гонартроз 3–4 стадии, с дефектом (некротизацией) медиального мыщелка большеберцовой кости.

Prescut позволяют фиксировать к дистальной поверхности внутренней и наружной стороны имплантата соразмерный замещающий модульный блок. Форма модульного блока повторяет контуры тиббиального компонента эндопротеза. Блок комплектуется двумя винтами, которыми выполняется фиксация к большеберцовому компоненту, имеющему две пары соответствующих направляющих отверстий. Высота применяемых тиббиальных модульных блоков — 5 и 10 мм. Суставную поверхность мыщелков бедренной кости резецировали по измеренному заранее шаблону. Резекция тиббиального плато и пораженного мыщелка выполнялась по специальному интрамедуллярному направлятелю, чем обеспечивалась корректная ориентация большеберцового компонента при моделировании костного ложа под примерочный модульный блок, входящий в набор для имплантации эндопротеза Zimmer NexGen (Рис. 2А, 2Б).

После пробной установки примерочного модульного блока и сборки примерочного эндопротеза производили имплантацию компонентов эндопротеза с применением костного цемента (Рис. 3А, 3Б).



Рисунки 2А, 2Б. Установлен эндопротез Zimmer Nex Gen LCCK

Полость сустава дренировали, рану послойно ушивали. Рентген-контроль выполняли через 24 часа после операции, затем через 3 месяца, а в последующем — ежегодно. Пациентам же основной группы и контрольной группы разрешалось давать полную или незначительно ограниченную нагрузку на оперированную конечность в раннем послеоперационном периоде, одновременно активно начиная восстановительное лечение. Результаты лечения пациентов оценивались по контрольным рентгенограммам, по шкале KSS, производилось измерение амплитуды движений в коленном суставе, измерение бедренно-большеберцового механического угла. На дооперационном этапе в исследуемой группе бедренно-большеберцовый механический угол в среднем составил  $162^\circ$  ( $n=32$ ), в контрольной группе I —  $168^\circ$  ( $n=100$ ). В послеоперационном периоде и в течение 6 лет наблюдения бедренно-большеберцовый механический угол во всех группах составил в среднем  $180 \pm 2^\circ$  ( $n=132$ ). Пациенты на второй день после оперативного вмешательства могли давать до 75% осевой нагрузки на оперированную конечность и передвигаться по отделению с дополнительной опорой на 1 или 2 костыля,

одновременно начиная восстановительное лечение. В первый год после операции при выполнении рентгенологического контроля в 7 случаях применения модульных блоков наблюдалась рентгенопрозрачная линия толщиной не более 1 мм, которая в дальнейшем не прогрессировала. Амплитуда движений в коленном суставе в основной группе при дооперационном обследовании в среднем составила  $62 \pm 2^\circ$  ( $n=32$ ), в контрольной группе —  $87 \pm 2^\circ$  ( $n=100$ ). При наблюдении пациентов основной группы в сроки от 2 до 6 лет после операции амплитуда движений в среднем составила  $108 \pm 2^\circ$  ( $n=32$ ), в контрольной группе —  $112 \pm 2^\circ$  ( $n=100$ ). Таким образом, при сравнении результатов лечения у пациентов основной и контрольных групп спустя 1 год, 3 года и 6 лет после операции были получены одинаковые результаты, что доказывает эффективность применения данной методики. При оценке по шкале KSS в дооперационном периоде: объективная оценка коленного сустава в основной группе в среднем составила 43 балла, а функциональная — 32. В контрольной группе средние показатели объективной оценки составили 54 балла, а функциональной 39. В послеопераци-



Рисунок 3. Имплантация компонентов эндопротеза. А — тибийный компонент эндопротеза коленного сустава Zimmer LCCK с интрамедуллярным стержнем; Б — костный дефект большеберцовой кости

онном периоде объективная оценка больных основной группы составила 88 баллов, функциональная — 73 балла. В контрольной группе были получены следующие результаты: объективная оценка — 89 баллов, функциональная — 75 баллов.

### Обсуждение

Ряд зарубежных авторов опубликовали результаты исследований тотального эндопротезирования коленного сустава с применением методик замещения костных дефектов у пациентов с остеонекротическим поражением мыщелков. Z. Pei с соавторами сообщают о результатах эндопротезирования 19 коленных суставов у 16 пациентов с грубой варусной деформацией коленного сустава. В среднем варусная деформация составила  $32^\circ$  ( $25\text{--}45^\circ$ ), средний возраст пациентов —  $66 \pm 8$  лет (от 52 до 77). Средний срок наблюдения за пациентами — 25 месяцев (от 3 до 50), амплитуда движений —  $112^\circ$  ( $95\text{--}125^\circ$ ). Средняя оценка по шкале KSS — 86 баллов (71–93 балла), по функциональной шкале — 88 баллов (74–96 баллов). При этом за все время наблюдения не было отмечено ни одного случая переломов, инфекционного осложнения, нестабильности компонентов или остеолита. J. K. Lee доложил о 46 случаях эндопротезирования коленного сустава с применением модульных блоков для замещения костных дефектов со средними сроками наблюдения 5 лет. В 5 случаях в течение первого года после операции он наблюдал рентгенопрозрачную линию между цементом и костью в области установки модульного блока, которая в дальнейшем не прогрессировала. Мы проанализировали предоперационное планирование и технику замещения костных дефектов мыщелков

большеберцовой кости модульными металлическими блоками зарубежных коллег.

Основываясь на результатах этого анализа, мы более тщательно подошли к предоперационному планированию, применяя алгоритм выбора методики замещения остеонекротических дефектов. В 30 случаях применения модульных блоков для замещения костных дефектов медиального мыщелка большеберцовой кости были получены в целом отличные и хорошие результаты. В 7 (21,8%) случаях на рентгенограммах в первый год после операции наблюдалась рентгенопрозрачная линия толщиной не более 1 мм, которая в дальнейшем не прогрессировала.

### Выводы

Применение модульных блоков для замещения костных дефектов при эндопротезировании коленного сустава обеспечивает надежную первичную опору для компонентов эндопротеза, что, в свою очередь, дает возможность полноценной функциональной реабилитации пациентов в ранний послеоперационный период. Обеспечивает максимальное сохранение костной ткани мыщелков при формировании костного ложа для компонентов эндопротеза по сравнению с методикой костной аутопластики, при которой для предупреждения остеолита костного аутотрансплантата необходимо опиливать зону костного дефекта мыщелка до кровотока губчатой кости. Дает возможность уменьшить количество костного цемента при установке компонентов эндопротеза по сравнению с цементной пластикой дефекта. Применимо у пациентов разных возрастных групп, особенно у пожилых людей с проявлениями остеопороза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцева, М. Ю. Остеонекроз мышечков бедренной и большеберцовой костей: этиопатогенез, клинко-морфологические особенности, диагностика. // диссер. канд. мед. наук. — СПб. — 2005. — С. 4.
2. Каземирский, А. В. Компенсация остеонекротических дефектов мышечков при эндопротезировании коленного сустава / А. В. Каземирский [и др.] // Эндопротезирование в России: всерос. монодем. сб. науч. статей. — Казань; СПб. — 2006. — С. 197–206.
3. Корнилов, Н. Н. Особенности асептического некроза мышечков бедренной и большеберцовой костей / Н. Н. Корнилов, К. А. Новоселов // Травматология и ортопедия России. — 2003. — № 1 — С. 76–81.
4. Andriacchi, T. P. Gait analysis and total knee replacement / T. P. Andriacchi, C. O. Dyrby. // Total knee arthroplasty. — Germany: Springer, 2005. — P. 38–42.
5. Insall, J. N. Joint replacement and it's alternatives / J. N. Insall, J. M. Leonell // Surgery of the knee. — New York: Churchill Livingstone, 2006. — P. 1295–1521
6. Lee, J. K. Management of tibial bone defects with metal augmentation in primary total knee replacement / J. K. Lee, C. H. Choi // J. Bone Joint Surg —2011. — Vol. 93-B, N11. — P. 1493–1496.
7. Liu, J. Autologous bone grafting plus screw fixation for medial tibial defects in total knee arthroplasty / J. Liu [et al.] // Zhonghua Yi Xue Za Zhi. — 2011. — Vol. 91, N29. — P. 2046–2050.
8. Lotke, P. A. Spontaneous osteonecrosis of the knee: tibial plateaus / P. A. Lotke, C. L. Nelson, J. H. Lonner // Orthop. Clin. North Am. — 2004. — Vol. 35, N3. — P. 365–370.
9. Mont, M. A. Osteonecrosis of the knee / M. A. Mont, Ph. S. Ragland // Surgery of the knee. — New York: Churchill Livingstone, 2006. — P. 460–480.
10. Mulhall, K. J. Scoring systems and their validation for the arthritic knee / K. J. Mulhall, T. C. Battaglia, Th. E. Brown, K. J. Saleh // Surgery of the knee. — New York: Churchill Livingstone, 2006. — P. 1295–1300.
11. Pei, Z. Autogeneous bone graft in the treatment of total knee arthroplasty for severe genu varus with tibial plateau bone defect / Z. Pei, Z. P. Guan, S. L. Zhang, Y. P. Li, Z. Zhang // Beijing Da Xue Xue Bao. — 2011. — Vol. 43, N5. — P. 707–713.
12. Rozing, P. M. Spontaneous osteonecrosis of the knee / P. M. Rozing [et al.] // J. Bone Joint Surg. — 1980. — Vol. 62-A. — P. 2–7.
13. Schindler, O. S. Osteonecrosis of the medial tibial plateau: a case report / O. S. Schindler [et al.] // J. Orthop. Surg. — 2006. — Vol. 14, N3. — P. 325–329.
14. Vail, Th. P. V. Surgical techniques and instrumentation in total knee arthroplasty / Th. P. Vail, Jason E. Lang, C. Van Sikes // Surgery of the knee. — New York: Churchill Livingstone, 2006. — P. 1042–1099.

© Загородний Николай Васильевич ( dr.lomjaria@mail.ru ), Ивашкин Александр Николаевич, Ауде Фади Салемович, Захарян Норайр Грайрович, Степанян Рубен Вачаганович, Безверхий Сергей Владимирович, Алиев Расул Николаевич.  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



# ВЛИЯНИЕ ФИТОТЕРАПИИ НА МИКРОБНУЮ АДГЕЗИЮ У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКИМ ПИЕЛОНЕФРИТОМ И ЦИСТИТОМ

## INFLUENCE OF PHYTOTHERAPY ON BACTERIAL ADHESIVENESS BY CHRONIC PYELONEPHRITIS AND CHRONIC CYSTITIS PATIENTS

V. Ivanov  
V. Saganov

*Summary.* The influence of prophylactic therapy by chronic pyelonephritis and cystitis patients in remission stage using by phytotea «Baikal's № 6» and tablets of dry extract of *Arctostaphylos Uvae Ursi* on bacterial adhesiveness has been analyzed. The use of phytotherapy decrease the bacterial adhesiveness of uropatogens, reduce the indices of lipid peroxidation.

*Keywords:* Phytotherapy, pyelonephritis, cystitis, bacterial adhesiveness.

**Иванов Виктор Викторович**

К.м.н., Республиканская клиническая больница скорой медицинской помощи им. В.В. Ангапова,

**Саганов Владислав Павлович**

Д.м.н., Бурятский государственный университет,  
г. Улан-Удэ

uromed-lkc@mail.ru

*Аннотация.* Проведен анализ профилактического приема фиточая «Байкальский-6» у 32 больных хроническим пиелонефритом и таблеток сухого экстракта толокнянки обыкновенной у 36 пациенток хроническим циститом. Применение растительных лекарственных средств снижает основные показатели адгезии микроорганизмов на поверхности клеточных мембран больных, за счет противомикробного действия. Уменьшению адгезии микроорганизмов способствует, также, снижение процессов перекисного окисления липидов, что приводит к увеличению стабильности клеточных мембран.

*Ключевые слова:* Фитотерапия, пиелонефрит, цистит, микробная адгезия.

### Введение

Основным фактором вирулентности уропатогенных микробов является их адгезия к клеткам эпителия мочевых путей [6,7]. С другой стороны, повышенная адгезивная способность уроэпителиальных клеток, в том числе за счет дестабилизации клеточных мембран, предрасполагает к рецидивам инфекций мочевых путей (ИМП) [1]. Известно, что антиадгезивным действием обладают низкие дозы антибиотиков и некоторые растительные лекарственные средства [6,10]. Учитывая патогенетические звенья развития инфекций мочевых путей, в их комплексное лечение целесообразно включать фитопрепараты, обладающие противомикробным и мембраностабилизирующим действием. При этом, назначение фитотерапии необходимо не только в активной стадии патологического процесса, но и в период ремиссии, в качестве профилактического лечения.

### Цель исследования

Изучить показатели адгезивности микробов и перекисного окисления липидов у больных хроническим пиелонефритом, в результате профилактического применения фиточая «Байкальский-6» и таблеток сухого экстракта толокнянки обыкновенной у больных хроническим циститом, в стадии ремиссии.

### Материалы и методы исследования

Нами прослежены результаты профилактического лечения 32 пациентов хроническим пиелонефритом (ХП) и 36 пациентов хроническим циститом (ХЦ) в стадии ремиссии.

Из 32 пациентов ХП было 26 женщин и 6 мужчин. Возраст от 18 до 70 лет. Средний возраст —  $44,5 \pm 0,9$  лет. Больные перенесли обострение воспалительного процесса 1–3 месяца назад.

Больные хроническим циститом, в количестве 36 пациенток. Возраст женщин составил от 18 до 65 лет. Средний возраст —  $39,5 \pm 0,6$  лет. Профилактическое лечение получали пациентки с частыми обострениями цистита — более 2 раз в течение 6 месяцев, или более 3 раз в течение года. Анамнез заболевания — 5–12 лет, в среднем  $6,6 \pm 0,7$  лет.

Общий отбор больных осуществлялся по следующим критериям: возраст от 18 лет; наличие соответствующего анамнеза заболевания; отсутствие obstructивных уропатий и нейрогенных расстройств мочеиспускания; отсутствие аллергических реакций на антибиотики; отсутствие тяжелых сопутствующих соматических заболеваний. Все больные имели сохранную функцию почек, без явлений почечной недостаточности. Пациенты не принимали антибактериальные препараты в течение

месяца. В соответствии с программой GCP (Good Clinical Practic) получали информированное согласие больного.

По методике профилактического лечения больные с каждой нозологией были разделены на 3 группы. Первые группы — по 12 человек больных ХП и ХЦ, принимали растительные лекарственные средства, в течение 4-х и 3-х недель, соответственно. Вторые группы — 10 человек с ХП и 12 пациенток с ХЦ, принимали ципрофлоксацин по 125 мг на ночь в течение 4-х и 3-х недель, соответственно. Третьи группы 10 больных ХП и 12 пациенток с ХЦ — профилактического лечения не получали. Контрольную группу составили 12 практически здоровых доноров крови в возрасте  $46,2 \pm 0,7$  лет.

В качестве растительного лекарственного средства у больных ХП был использован фиточай «Байкальский-6». Средство обладает антимикробным, противовоспалительным, мочегонным, мембраностабилизирующим, антиоксидантным свойствами [5,9]. Фиточай представляет собой сбор из следующих видов растительного сырья: побегов толокнянки обыкновенной (*Arctostaphylos uva ursi* L.), листа брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis idaea* L.), травы горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), цветков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), листа крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.). Соотношение составляющих компонентов составляет 3,0: 2,0: 2,0: 1,5: 1,5 масс. частей. Принимали фиточай «Байкальский-6» в виде настоя 1:10 по 1/3 стакана на прием, 3 раза в день, утром натощак или за 40–60 мин до приема пищи. Курс профилактического лечения составил 28 дней.

Больные ХЦ принимали таблетки сухого экстракта толокнянки обыкновенной (ТСЭТО), по 200 мг 3 раза в день за 40 мин. до приема пищи, в течение 21 дня. Сухой экстракт толокнянки обыкновенной, получали из листьев путём измельчения растительного сырья, экстракции 45–55% этиловым спиртом, упаривания экстракта, очистки сепарированием и сушки методом распыления. Основным действующим началом сухого экстракта толокнянки обыкновенной является сумма фенологликозидов. Использовались в исследовании таблетки экстракта толокнянки сухого 0,05г, с регламентируемой не менее 25% суммой фенологликозидов в пересчете на арбутин-стандарт [3,4].

Динамику адгезивности микроорганизмов, до и после лечения, на поверхности эритроцитов периферической крови изучали по методике Бриллис В. И. и соавторов (1986) [2], с использованием нативных эритроцитов пациентов. Для сравнения применяли дважды отмытые буферным раствором донорские эритроциты 0(I) группы крови Rh+. В опытах использовали музейные штаммы *Escherichia coli* B 3254 и ATCC25922. ГИСК им. Тарасевича.

Рассчитывали коэффициент адгезии (К) — процент эритроцитов, участвующих в адгезивном процессе и индекс адгезивности микроорганизмов (ИАМ). Коэффициент участия эритроцитов в адгезивном процессе (К) — процент эритроцитов, имеющих на своей поверхности адгезированные микробы. (К) считался значимым при показателе более 50%. Индекс адгезивности микроорганизмов (ИАМ) — число адгезированных микробов на одном участвующем в адгезивном процессе эритроците.

Состояние перекисного окисления липидов (ПОЛ) оценивали по малоновому диальдегиду (МДА), который определяли по методике И. Д. Стальной и Т. Г. Гаришвили (1977) [8] в эритроцитах, спектрофотометрическим методом на УФ-спектрофотометре СФ-46. Для исследования эритроцитов использовали венозную кровь, взятую натощак и стабилизированную гепарином.

Данные всех пациентов, завершивших лечение, были подвергнуты статистическому анализу. Результаты обработаны с помощью стандартного программного пакета Microsoft Excel для Windows.

## Результаты и обсуждение

Результаты показателей адгезии *Escherichia coli* представлены в таблице 1. Показатели адгезивности *Escherichia coli* (B 3254 и ATCC25922) в группах больных ХП в стадии ремиссии, до и после курса профилактического лечения ( $M \pm m$ ), составили у пациентов первой группы: К  $68,5 \pm 2,14\%$  и  $46,12 \pm 0,96\%$  соответственно ( $p < 0,01$ ); ИАМ  $3,30 \pm 0,18$  ед. и  $2,43 \pm 0,21$  ед. ( $p < 0,01$ ). Во второй группе: К  $64,4 \pm 2,26\%$  и  $41,34 \pm 0,14\%$  ( $p < 0,01$ ); ИАМ  $3,55 \pm 0,12$  ед. и  $2,41 \pm 0,16$  ед. ( $p < 0,01$ ). В третьей группе (динамическое наблюдение) К составил  $66,4 \pm 1,23\%$  и  $68,4 \pm 2,11\%$  через один месяц; ИАМ  $3,4 \pm 0,22$  ед. и  $3,5 \pm 0,21$  ед.

Показатели адгезивности *Escherichia coli* в группах больных ХЦ в стадии ремиссии, до и после курса профилактического лечения ( $M \pm m$ ), составили у пациентов первой группы: К  $54,2 \pm 2,13\%$  и  $44,4 \pm 1,61\%$  соответственно ( $p < 0,05$ ); ИАМ  $2,90 \pm 0,57$  ед. и  $2,08 \pm 0,32$  ед. ( $p < 0,05$ ). Во второй группе: К  $56,43 \pm 0,54\%$  и  $42,4 \pm 0,64\%$  ( $p < 0,05$ ); ИАМ  $2,94 \pm 0,19$  ед. и  $2,14 \pm 0,64$  ед. ( $p < 0,05$ ). В третьей группе (динамическое наблюдение) К составил  $55,6 \pm 1,34\%$  и  $57,1 \pm 1,56\%$  через три недели; ИАМ  $2,90 \pm 0,49$  ед. и  $3,0 \pm 0,41$  ед. В группе здоровых К% составил  $43,0 \pm 2,0$ , ИАМ ед.  $3,5 \pm 0,21$ .

Показатели К% и ИАМ у здоровых достоверно отличаются от показателей больных ХП ( $p < 0,01$ ) и ХЦ ( $p < 0,05$ ) до профилактического лечения. У пациентов ХП в стадии ремиссии, процент эритроцитов, участвующих



Таблица 1. Показатели адгезивности *Escherichia coli* (ATCC25922) у больных хроническим пиелонефритом и циститом в стадии ремиссии до и после курса профилактического лечения ( $M \pm m$ ).

Группы пациентов	Показатели адгезивности		
	Коэффициент адгезии К(%)	Индекс адгезивности микроорганизмов ИАМ (ед.)	
Здоровые, n = 12	43,0 ± 2,0	2,02 ± 0,16	
Больные хроническим пиелонефритом, n = 32			
Фиточай «Байкальский-6», n = 12	До лечения	68,5 ± 2,14	3,30 ± 0,18
	После лечения	46,12 ± 0,96**	2,43 ± 0,21**
Ципрофлоксацин по 125 мг 1 раз на ночь, n = 10	До лечения	64,4 ± 2,26	3,55 ± 0,12
	После лечения	41,34 ± 0,14**	2,41 ± 0,16**
Динамическое наблюдение, n = 10	До лечения	66,4 ± 1,23	3,4 ± 0,22
	Через 28 дней	68,4 ± 2,11	3,5 ± 0,21
Больные хроническим циститом, n = 36			
Таблетки сухого экстракта толокнянки обыкновенной (ТСЭТО), n = 12	До лечения	54,2 ± 2,13	2,90 ± 0,57
	После лечения	44,4 ± 1,61*	2,08 ± 0,32*
Ципрофлоксацин по 125 мг 1 раз на ночь, n = 12	До лечения	56,43 ± 0,54	2,94 ± 0,19
	После лечения	42,4 ± 0,64*	2,14 ± 0,64*
Динамическое наблюдение, n = 12	1 день	55,6 ± 1,34	2,90 ± 0,49
	Через 21 день	57,1 ± 1,56	3,0 ± 0,41

Примечание: \* —  $p < 0,05$ ; \*\* —  $p < 0,01$  — достоверность различий результатов до и после лечения.

в адгезивном процессе, несколько выше по сравнению с результатами больных ХЦ.

Такой потенциально высокий риск фиксации патогенной микрофлоры на цитомембранах организма обусловлен как факторами патогенности микробов, так и, возможно, нарушением стабильности клеточных мембран при наличии факторов риска или персистирующей инфекции. У преобладающего большинства больных ХП и ХЦ после приема фитопрепарата и низких доз ципрофлоксацина отмечалось снижение индекса адгезивности и коэффициента адгезии. Изменение восприимчивости цитомембран к адгезии патогенной флоры указывает, на наличие постоянного риска возникновения инфекций мочевых путей ИМП у этих пациентов

Если механизм антиадгезивного действия низких доз антибиотиков реализуется за счет прямого антибактериального воздействия на микроорганизмы, то в механизме влияния растительных препаратов на адгезию, вероятно, имеется еще и компонент стабилизации клеточных мембран. С целью определения влияния фитопрепаратов на ПОЛ и мембраностабилизацию изучали показатели малонового диальдегида (МДА) в эритроцитах крови (таблица 2).

Динамика показателей МДА (мкмоль/л) в эритроцитах крови под влиянием профилактического лечения у больных ХП в стадии ремиссии ( $M \pm m$ ) составила в первой группе 7,32 ± 0,86 и 4,26 ± 0,32 ( $p < 0,01$ ) до и после лечения. Во второй группе 7,54 ± 0,32 и 5,74 ± 0,77 ( $p < 0,05$ ) соответственно. В третьей группе 7,67 ± 0,18 и 6,46 ± 0,19.

У больных ХЦ в стадии ремиссии в первой группе показатели составили 7,43 ± 0,69 и 4,33 ± 0,26 ( $p < 0,01$ ) до и после лечения. Во второй группе 7,66 ± 0,47 и 5,78 ± 0,64 ( $p < 0,05$ ) соответственно. В третьей группе 7,76 ± 0,36 и 6,52 ± 0,28.

Как отражено в таблице 2, у больных ХП и ХЦ в стадии ремиссии концентрация МДА в эритроцитах крови была увеличена по сравнению со здоровыми ( $p < 0,05$ ). В результате проведения профилактического курса лечения, активность показателей ПОЛ значимо ( $p < 0,01$ ) снизилась по сравнению с исходной. В группах больных, принимавшей низкие дозы фторхинолонов, показатели МДА снизились достоверно ( $p < 0,05$ ), но концентрация МДА оставалась выше показателей здоровых лиц. В группах динамического наблюдения показатели МДА оставались без существенной динамики и были достоверно выше, чем в группе здоровых лиц ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2. Динамика показателей малонового диальдегида (МДА) в эритроцитах крови у больных хроническим пиелонефритом и циститом в стадии ремиссии до и после курса профилактического лечения (M±m).

Группы пациентов	МДА (мкмоль/л) в эритроцитах
Здоровые, n = 12	5,14±0,56
Больные хроническим пиелонефритом, n = 32	
До лечения	
Фиточай «Байкальский-6», n = 12	7,32 ± 0,86
Ципрофлоксацин, n = 10	7,54 ± 0,32
Динамическое наблюдение, n = 10	7,67 ± 0,18
После лечения	
Фиточай «Байкальский-6», n = 12	4,26 ± 0,32**
Ципрофлоксацин, n = 10	5,74 ± 0,77*
Динамическое наблюдение, n = 10	6,46 ± 0,19
Больные хроническим циститом, n = 36	
До лечения	
Таблетки сухого экстракта толокнянки обыкновенной (ТСЭТО), n = 12	7,43±0,69
Ципрофлоксацин, n = 12	7,66±0,47
Динамическое наблюдение, n = 12	7,76±0,36
После лечения	
Таблетки сухого экстракта толокнянки обыкновенной (ТСЭТО), n = 12	4,33±0,26**
Ципрофлоксацин, n = 12	5,78±0,64*
Динамическое наблюдение, n = 12	6,52±0,28

Примечание: p<0,05 \*; p<0,01 \*\* — достоверность различий результатов до и после лечения.

При оценке процессов ПОЛ мы выявили, что в эритроцитах крови пациентов с ХП и ХЦ в стадии ремиссии имеет место повышение продукции ПОЛ по сравнению с показателями, полученными у относительно здоровых пациентов. При отсутствии профилактического лечения, в период реконвалесценции, величина изучаемых маркеров в крови больных ХП и ХЦ хоть и приближается к показателям, обнаруженным у относительно здоровых, но не нормализуется. Этот фактор является предпосылкой развития, в дальнейшем, благоприятных условий для рецидивирования инфекционно-воспалительного процесса.

Выявлена корреляция между показателями адгезии ИАМ и уровнем МДА в эритроцитах крови. Коэффициент корреляции (r) между абсолютным числом ИАМ и уровнем МДА, составил + 0,82, в группе больных ХП, принимавших фиточай «Байкальский-6», и + 0,54 в группе больных, принимавшей антибактериальную профилактику. У больных ХЦ этот показатель составил + 0,74 в группе, принимавшей таблетки сухого экстракта толокнянки обыкновенной, и + 0,58 в группе больных, принимавшей антибактериальную профилактику. Выявлена умеренная положительная связь в группе больных с антибак-

териальным методом профилактики и сильная положительная связь у пациентов, принимавших растительные средства.

Механизм антиадгезивного действия растительных лекарственных средств обусловлен, по нашему мнению, двумя факторами. Первым фактором является угнетающее действие на способность ворсинок (пилей) *E. coli* к адгезии. Данный механизм характерен для антибиотиков. Вторым фактором является положительное влияние растительного средства на стабилизацию клеточных мембран, что отражает снижение МДА в эритроцитах периферической крови в группе больных, получавшей растительные средства. Этого не наблюдалось у пациентов, принимавших низкие дозы антибиотиков. Высокая восприимчивость клеточных мембран к адгезии патогенной флоры, указывает на потенциальный риск возникновения инфекционного воспаления.

#### Выводы

Применение фитопрепаратов приводит к снижению основных показателей адгезии микроорганизмов на поверхности цитомембран у большинства больных, стра-

дающих пиелонефритом и циститом, за счет прямого противомикробного действия.

Использование фитотерапии ведет к снижению процессов свободнорадикального окисления, усилению ан-

тиоксидантной защиты организма и, как следствие, снижению накопления продуктов перекисного окисления липидов, что в свою очередь приводит к увеличению стабильности клеточных мембран и снижению адгезии микроорганизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беликова Е. Э. Роль адгезивности грамотрицательных бактерий и процессов свободнорадикального окисления в развитии инфекции мочевой системы у детей группы риска. Дисс. . . канд. мед. наук. Ростов-на-Дону, 2005–146с.
2. Бриллис В. И., Брилене, Т. А. Ленцер с соавт. Методика изучения адгезивного процесса микроорганизмов. // Лабораторное дело. — 1986. — № 4. — С. 210–212.
3. Нагаслаева Л. А. Разработка технологии производства экстракта толокнянки сухого и создание лекарственной формы на его основе. Методы их стандартизации. Автореф. дисс. . . канд. фарм. наук. М., 1994. — 21с.
4. Нагаслаева Л.А., Глызин В. И., Даргаева Т. Д., Николаев С. М., Шантанова Л. Н., Мондодоев А. Г., Дугаржапов А. М. Способ получения средства, обладающего мочегонной и противовоспалительной активностью. Патент РФ № 2064301 от 27.07.96 г.
5. Патент РФ № 2237488 от 22.01.2004. Средство «чай Байкальский-6», обладающее диуретической активностью и способ его получения / Е. Д. Югдурова, А. А. Маркарян, Г. Г. Николаева, Л. А. Нагаслаева, А. Г. Мондодоев, С. М. Николаев, Т. Д. Даргаева.
6. Переверзев А.С., Коган М. И. Инфекции и воспаление в урологии. М., 2007–244с.
7. Перепанова Т. С. Трудности лечения рецидивирующей инфекции мочевых путей. Возможности фитопрепаратов // РМЖ. 2009. — N12. — С. 841–845.
8. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы биохимии (под ред. В. Н. Ореховича). — М., 1977. — С. 66–68.
9. Югдурова Е. Д. Фармакогностическое изучение комплексного растительного средства, рекомендуемого для профилактики заболеваний мочевыделительной системы // Автореф. канд. мед. наук. Улан-Удэ, 2004. — 21с.
10. Tempera G., Corsello S., Genovese C., Caruso F. E., Nicolosi D. Inhibitory activity of cranberry extract on the bacterial adhesiveness in the urine of women: an ex-vivo study — Int. J Immunopathol. Pharmacol. — 2010 — Vol. 23(2). — p. 611–618.

© Иванов Виктор Викторович, Саганов Владислав Павлович ( uomed-1k@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## ОСОБЕННОСТИ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ У БОЛЬНЫХ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА И ОЖИРЕНИЕМ

### PECULIARITIES OF NONALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE OF PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS OF THE 2<sup>ND</sup> TYPE AND OBESITY

**A. Kuznetsova**  
**A. Dolgushina**  
**C. Ananyan**  
**E. Axt**  
**C. Gul**  
**A. Markina**  
**A. Savochkina**  
**V. Sumerkina**  
**V. Tyulganova**  
**L. Korotneva**

*Summary.* At present a great number of works are devoted to studying epidemiology and variations of the development of the nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) in the presence of diabetes mellitus (DM). In this case, the key role in the progredient development of NAFLD in the presence of DM of the 2nd type is assigned to obesity which is associated with remodelling fatty tissues, dysfunctioning of adipocytes and developing chronic inflammation. The goal of the present research is studying the peculiarities of NAFLD of patients with DM of the 2nd type depending on the existence of obesity. In this work it has been demonstrated that the peculiarities of NAFLD of patients with DM of the 2nd type in the presence of obesity are higher levels of transaminase together with dyslipidemia, and also the high level of expression of the liver fibrosis according to the results of NFS test.

*Keywords:* diabetes mellitus of the 2nd type, obesity, nonalcoholic fatty liver disease.

**Кузнецова Алла Сергеевна**  
 Ассистент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ  
**Долгушина Анастасия Ильинична**  
 Д.м.н., доцент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ  
**Ананян Кристина Робертовна**  
 Студент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ, ГБУЗ Челябинская областная клиническая больница  
**Акт Елена Владимировна**  
 Студент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ, ГБУЗ Челябинская областная клиническая больница  
**Гуль Кристина Андреевна**  
 Студент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ, ГБУЗ Челябинская областная клиническая больница  
**Маркина Алена Юрьевна**  
 К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ  
 Markina\_alenka@mail.ru  
**Савочкина Альбина Юрьевна**  
 Д.м.н., доцент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ  
**Сумеркина Вероника Андреевна**  
 К.м.н., с.н.с., ФГБОУ ВО ЮУГМУ,  
**Тюльганова Валерия Леонидовна**  
 К.м.н., Заведующий отделением эндокринологии Челябинской областной клинической больницы, ассистент ФГБОУ ВО ЮУГМУ,  
**Коротнева Лолита Евгеньевна**  
 Ассистент, ФГБОУ ВО ЮУГМУ

*Аннотация.* В настоящее время большое количество работ посвящено изучению эпидемиологии и вариантам течения неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП) при сахарном диабете (СД). При этом ключевая роль в прогрессивном течении НАЖБП в сочетании с СД 2 типа отводится ожирению, ассоциированному с ремоделированием жировой ткани, дисфункцией адипоцитов и развитием хронического воспаления. Целью представленного исследования стало изучение особенностей НАЖБП у больных с СД 2 типа в зависимости от наличия ожирения. В представленной работе показано, что особенностями НАЖБП у больных с СД 2 типа при наличии ожирения являются более высокие уровни трансаминаз в сочетании с дислипидемией, и большая выраженность фиброза печени по данным теста NFS.

*Ключевые слова:* сахарный диабет 2 типа, ожирение, неалкогольная жировая болезнь печени.

### Введение

**В** настоящее время неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) рассматривается, как печеночная форма манифестации метаболического синдрома [1,2]. Этим объясняется большое количество работ, посвященных изучению эпидемиологии и вариантов течения НАЖБП при сахарном диабете (СД) [3]. В

целом, по данным доступных источников литературы, распространенность НАЖБП среди пациентов с СД составляет более 55%, при этом смертность в группе больных с сочетанием НАЖБП и СД 2 типа вдвое выше, в сравнении с группой изолированного жирового гепатоза [4,5]. Также в исследовании Leon A. Adamset al. (2009), основанном на наблюдении в течение 11 лет за 109 пациентами с ожирением, было показано, что для пациентов

с НАЖБП отношение шансов развития СД 2 типа в три раза выше в сравнении с пациентами без стеатоза печени [6]. Принято выделять два фенотипа НАЖБП (стеатоз и стеатогепатит), отличающиеся между собой не только по морфологической картине, но и имеющие различную клинико-прогностическую значимость [7]. Недооценка распространенности указанной патологии печени, может иметь негативные последствия, в виде гистологической прогрессии заболевания до стадий фиброза и цирроза печени [8,9]. При этом ключевая роль в прогрессивном течении НАЖБП в сочетании с СД 2 типа отводится ожирению, ассоциированному с ремоделированием жировой ткани, дисфункцией адипоцитов и развитием хронического воспаления [10–13]. Так, например, в работе Wanless IR et al. (1990) при патоморфологическом исследовании 207 аутопсийных наблюдений, установлено наличие фиброза печени в 13,8% случаев у пациентов с ожирением и НАЖБП в сравнении с больными с нормальным индексом массы тела и НАЖБП (6,6%) [14]. Другие исследования продемонстрировали прямую корреляцию между индексом масс тела (ИМТ) и степенью жировой дистрофии печени [15].

Золотым стандартом диагностики НАЖБП и её осложнений считается биопсия печени, однако ввиду риска развития осложнений, данная методика имеет свои ограничения [16,17]. Как следствие, внимание исследователей направлено на поиск неинвазивных и экономически оправданных методик раннего выявления стеатоза и фиброза печени. Наиболее приемлемым считается уравнение регрессии — NAFLD fibrosis score (NFS), предложенное Angulo et al. (2007) на основании многофакторного анализа, где в качестве переменных используются доступные клинические и лабораторные параметры (возраст, индекс массы тела, гипергликемия, количество тромбоцитов, уровень альбумина, соотношение трансаминаз) [18]. В последующем ряд метаанализов продемонстрировал надежность выбранной полуколичественной методики оценки фиброза печени, с отрицательной прогностической ценностью до 91% [19,20]. Отдельные работы были посвящены сравнительному анализу шкалы NFS с прямыми маркерами фиброза печени, при этом выбранная математическая модель доказала отличные прогностические качества в диагностике гепатофиброза, AUROC  $\geq$  0,8 [21]. Целью настоящего исследования стало изучение особенностей неалкогольной жировой болезни печени у больных с сахарным диабетом 2 типа в зависимости от наличия ожирения.

## Материалы и методы

В исследовании приняли участие 68 пациентов, находящихся на лечении в эндокринологическом отделении Челябинской областной клинической больницы с сентября по ноябрь 2016 года. Критериями включения были

наличие у пациента сахарного диабета 2 типа и НАЖБП. Из обследования исключали пациентов с вирусными гепатитами и циррозом печени, аутоиммунными заболеваниями печени, гемохроматозом, болезнью Вильсона-Коновалова, установленным фактом злоупотребления алкоголем (оценка по вопроснику AUDIT составляла 8 и более баллов, употребление более 40 грамм этанола в сутки) и онкологическими заболеваниями с активностью процесса в течение последних 5 лет. Во время клинического исследования соблюдались меры по безопасности здоровья пациента, защите его прав, человеческого достоинства и морально-этические нормы соответственно принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации и Конвенции о правах человека. Верификация патологических состояний осуществлялась согласно Международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) (ВОЗ). Диагноз СД устанавливался согласно «Национальным стандартам по диагностике и лечению сахарного диабета» (Дедов И. И., 2015). Оценку трофологического статуса проводили по рекомендациям ВОЗ (1997), согласно индексу Кетле: нормальная масса тела была констатирована при ИМТ от 18,5 до 24,9 кг/м<sup>2</sup>, диагноз «ожирение» выставлялся больным при ИМТ 30 кг/м<sup>2</sup>. Для верификации НАЖБП применяли биохимические и инструментальные методы исследования. Ультразвуковое исследование (УЗИ) органов брюшной полости проводилось с помощью аппарата «Siemens G-60» (Германия) с линейным датчиком. При наличии стеатоза печени выявляли характерные признаки: гиперэхогенность или диффузное увеличение «яркости» печеночной паренхимы, нечеткость сосудистого рисунка и дистальное затухание эхосигнала. Чувствительность данной методики варьирует от 60% до 94%, и изменяется в зависимости от степени стеатоза печени [22]. Оценивали следующие лабораторные показатели: уровни общего холестерина (ОХС), триглицеридов (ТГ), холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), креатинин с расчетом скорости клубочковой фильтрации (СКФ) по формуле СКД-EPI, определение активности амилазы, аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспаратаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), гамма-глутамилтранспептидазы (ГГТП), концентрации альбумина, глюкозы, общего билирубина, гликированного гемоглобина. Фиброз печени оценивали с использованием уравнения регрессии NFS:

$$\text{NAFLD Fibrosis Score (NFS)} = (-1,675 + 0,037 \times \text{возраст (лет)} + 0,094 \times \text{ИМТ (кг/м}^2\text{)} + 1,13 \times \text{гипергликемия натоцак / сахарный диабет (да=1, нет=0)} + 0,99 \times \text{соотношение АСТ/АЛТ} - 0,013 \times \text{количество тромбоцитов (10}^9\text{/л)} - 0,66 \times \text{альбумин (г/дл)}; \text{ (формула 1),}$$

где ИМТ — индекс массы тела (кг/м<sup>2</sup>), АСТ — аспаратаминотрансфераза, АЛТ — аланинаминотрансфераза.

Таблица 1. Клинико-лабораторная характеристика обследуемых больных

Показатель	НАЖБП+СД 2 типа без ожирения N=38	НАЖБП+СД 2 типа с ожирением N=30	p
Возраст, лет	53,0±7,9	60,5±0,7	0,194
Пол, м/ж	23/15	14/16	0,114
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	26,3±3,8	36,0±4,1	0,0001*
Окружность талии, см	87,5±13,3	109,0±9,5	0,0001*
Курение, абс.,%	5 (13%)	7 (23%)	0,699
Артериальная гипертензия, абс.,%	31 (82%)	29 (97%)	0,867
Ишемическая болезнь сердца, абс.,%	14 (37%)	15 (50%)	0,450
Предшествующая терапия статинами, абс.,%	6 (16%)	8 (27%)	0,447
Стаж СД 2 типа	9,4±5,8	8,0±4,3	0,546
АЛТ, ммоль/л	17,5±7,2	23,0±19,0	0,007*
АСТ, ммоль/л	20,2±6,0	19,7±7,5	0,688
АСТ/АЛТ	1,16±0,83	0,86±0,39	0,001*
ГТП, ед.	24,1±11,5	26,0±6,4	0,101
Билирубин общий, мкмоль/л	13,9±6,0	10,9±8,2	0,361
Альбумины, %	50,7±0,27	50,8±0,32	0,814
Общий холестерин, ммоль/л	4,8±1,2	5,5±1,2	0,048*
ЛПНП, ммоль/л	3,5±1,0	3,9±0,9	0,112
ЛПВП, ммоль/л	1,3±0,3	1,1±0,3	0,252
Триглицериды, ммоль/л	1,5±0,5	2,0±1,3	0,023*
Гликированный гемоглобин, %	9,1±2,0	8,8±1,7	0,854
Креатинин, мкмоль/л	83,0±14,8	85,0±17,4	0,664

Примечание: \*при  $p < 0,05$  различия между группами приняты достоверными. Характер различий между группами оценивался по критерию Манна-Уитни. ЛПНП- липопротеиды низкой плотности, ЛПВП — липопротеиды высокой плотности, ГТП — гамма-глутамилтранспептидаза.

Значение индекса NFS  $< -1,455$  (90%-ная чувствительность и 60%-ная специфичность) свидетельствует об отсутствии значительного фиброза, при значении индекса  $> 0,676$  (67%-ная чувствительность и 97%-ная специфичность) вероятность фиброза печени очень высока.

Статистическую обработку проводили с использованием ПО IBMSPSSStatistic, v.22, с расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r), U-критерия Манна-Уитни и критерия  $\chi^2$ .

## Результаты

Средний возраст обследованных больных составил  $60,0 \pm 13,1$  лет, среди них было 37 (54%) мужчин и 31 (46%) женщин. Принявшие участие в исследовании пациенты были разделены на две группы. Первую группу составили больные с верифицированной НАЖБП и СД 2 типа с ИМТ  $< 30$  кг/м<sup>2</sup>, вторая группа (также с НАЖБП и СД

2 типа) состояла из больных с ожирением, ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup>. Все пациенты находились в эндокринологическом отделении по поводу декомпенсации углеводного обмена, средний уровень гликированного гемоглобина в первой группе составил  $9,1 \pm 2,0$ , во второй группе  $8,8 \pm 1,7$ . В клинической картине большинства больных преобладали общие симптомы, характерные для декомпенсации СД, в виде жалоб на полидипсию, полиурию, сухость во рту. Стаж СД 2 типа в группе больных с ИМТ  $< 30$  кг/м<sup>2</sup> составил  $9,4 \pm 5,8$  лет, в группе с ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup>  $8,0 \pm 4,3$  лет.

Пациенты обеих групп не различались по возраст-но-гендерному составу. С целью оценки функции печени проведен клинический анализ исследуемой популяции и лабораторный анализ липидного, углеводного и белкового обмена в изучаемых группах пациентов (таблица 1).

При анализе показателей пигментного и ферментно-го обмена выявлено статистически значимое повышение

Таблица 2. Оценка фиброза печени по тесту NFS

Диапазон оценки фиброза по тесту NFS	НАЖБП+СД 2 типа без ожирения N=38	НАЖБП+СД 2 типа с ожирением N=30	p
< — 1,455 (F0-F1 fibrosis)	8 (21%)	1 (3%)	0,005*
от — 1,455 до 0,675 («серая зона»)	22 (58%)	5 (17%)	0,07
>0,675 (F3-F4 fibrosis)	8 (21%)	24 (80%)	0,015*

Примечание: \*при  $p < 0,05$  различия между группами приняты достоверными. Оценка статистической достоверности проводилась по критерию  $\chi^2$

АЛТ и снижение индекса АСТ/АЛТ в группе пациентов с ожирением ( $p < 0,05$ ). Данные параметры свидетельствуют о развитии синдрома цитолиза во второй группе больных. Оценивая изменения показателей липидного обмена установлено статистически достоверное повышение общего холестерина и триглицеридов в группе пациентов с ожирением, а также выявлена тенденция к более высоким значениям ЛПНП и снижению ЛПВП. Наряду с этим, важнейшим лабораторным параметром для пациентов с СД является состояние гликемического контроля, отражая степень компенсации углеводного обмена. Уровень глюкозы крови натощак, постпрандиальная гликемия, а также гликированный гемоглобин в обеих группах достоверно не различались.

Для оценки степени выраженности фиброза печени проводился расчет фибротеста NAFLD fibrosis score (таблица 2).

В первой группе пациентов 8 (21%) больных не имели выраженного фиброза печени, также у 8 (21%) больных выявлен значительный фиброз печени и 22 (58%) пациента остались в «серой зоне». В группе пациентов с ожирением наоборот статистически достоверно преобладал процент пациентов с фиброзом печени (24 пациента, 80%).

При анализе взаимосвязей установлено, что по мере увеличения значения NFS у больных с СД 2 типа увеличивается ИМТ, возрастает степень ожирения ( $p = 0,007$ ).

## Обсуждение

В представленной нами работе выявлена тесная взаимосвязь нарушений липидного и углеводного обмена у пациентов с НАЖБП в сочетании с СД 2 типа и ожирением. При этом, вероятно, ожирение является триггером дисметаболических процессов. Как видно из проведенного анализа, пациенты с ожирением характеризуются более высокими уровнями триглицеридов, нарушением ферментного обмена (активация процессов цитолиза гепатоцитов), а также отсутствием компенсации углеводного обмена. В целом именно у больных с ожирением

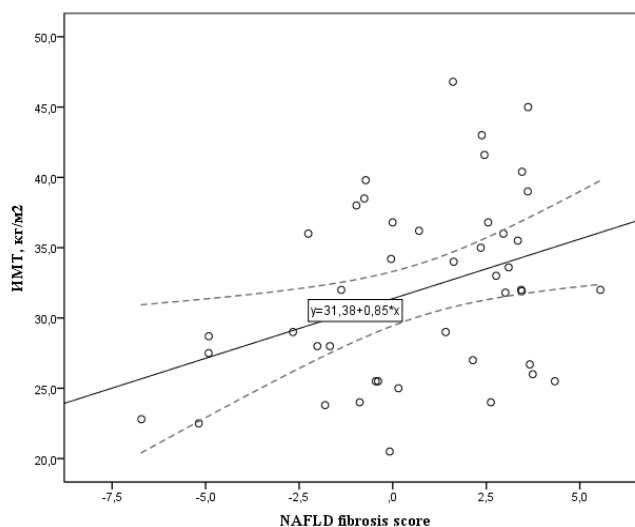


Рисунок 1 Корреляционная зависимость между индексом массы тела и индексом фиброза печени NFS у больных с СД 2 типа

чаще встречались продвинутой стадии фиброза печени в сравнении с больными с нормальной массой тела. Данный факт согласуется с литературными данными, согласно которым центральную роль в развитии стеатоза и стеатогепатита играет «липотоксичность», связанная как с поступлением свободных жирных кислот извне, так и с активацией липогенеза *de novo* в печени (Donnelly et al., 2005; Savage et al., 2007). Отдельная роль в этих процессах отводится триглицеридам. Ферментом, катализирующим последний этап синтеза триглицеридов является печеночная ацилкоэнзим-А-диацилглицерол ацилтрансфераза (DGAT), при этом активность данного фермента значительно возрастает при ожирении. Следствием данного феномена является избыточное поступление триглицеридов в жировую ткань («жировое депо»), с дальнейшим гидролизом липопротеинлипазой и высвобождением свободных жирных кислот (СЖК), которые транспортируются в печень и участвуют в прогрессировании НАЖБП. В свою очередь, именно СЖК отводится ключевая роль в развитии механизма инсулинорезистентности при СД 2 типа. С одной сторо-

ны это связано с непосредственным «липотоксическим» эффектом СЖК на бета-клетки поджелудочной железы, с другой стороны избыток СЖК стимулирует эндогенный синтез глюкозы в печени [23–25]. В гепатоцитах СЖК участвуют в активации свободных форм кислорода, индукции ишемии и воспалительного процесса, и как следствие прогрессируют фиброза печени [26].

## Выводы

Особенностями неалкогольной жировой болезни печени у больных с СД 2 типа при наличии ожирения являются более высокие уровни трансаминаз в сочетании с дислипидемией, и большая выраженность фиброза печени по данным теста NFS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Paul Angulo, Jill C. Keach, Kenneth P. Batts, and Keith D. Lindor. Independent Predictors of Liver Fibrosis in Patients With Nonalcoholic Steatohepatitis// *Hepatology* Vol. 30, No. 6, 1999
2. J Torres DM, Williams CD, Harrison SA. Features, diagnosis, and treatment of nonalcoholic fatty liver disease. *Clin Gastroenterol Hepatol* 2012; 10: 837–58.
3. Trombetta M, Spiazzi G. Type 2 diabetes and chronic liver disease in the Verona diabetes study. *Alim Pharm Ther* 2005;22:(Suppl 2):24–7
4. Anstee QM, Targher G, Day CP. Progression of NAFLD to diabetes mellitus, cardiovascular disease or cirrhosis. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2013; 10: 330–344.
5. Bergqvist CJ, Skoien R, Horsfall L, Clouston AD, Jonsson JR, et al. Awareness and opinions of non-alcoholic fatty liver disease by hospital specialists// *Intern Med* (2013) J 43: 247–253.
6. Adams LA, Waters OR, Knuiam MW, et al. NAFLD as a risk factor for the development of diabetes and the metabolic syndrome: an eleven-year follow-up study// *Am J Gastroenterol* 2009;104:861–7
7. Sarah Kashanian<sup>1</sup> and Michael Fuchs. Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in Patients with Diabetes Mellitus: A Clinician's Perspective// *International Journal of Digestive Diseases* Vol. 1, 2015 P 1–9
8. G, Gambino R, Cassader M, Pagano G. Meta-analysis: Natural history of non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) and diagnostic accuracy of non-invasive tests for liver disease severity. *Annals of Medicine* 2011;43(8):617–49
9. Ивашкин В.Т., Шульпекова Ю.О. Неалкогольный стеатогепатит// *Болезни органов пищеварения*. 2002; 2: 41–45
10. Yusuf Yilmaz, Zobair M. Younossi. Obesity-Associated Nonalcoholic Fatty Liver Disease// *Clin Liver Dis* 18 (2014) 19–31
11. Хисматуллина Г.Я., Волевач Л.В., Хакамова Г.А., Улямаева В.В., Быченкова М.А. Современные подходы в лечении заболеваний билиарной патологии у лиц молодого возраста с ожирением// *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, 2012, № 4, С. 60–65.
12. Лазебник Л.Б., Звенигородская Л.А., Егорова Е.Г., Мельникова Н.В., Хомерики С.Г. Неалкогольная жировая болезнь печени при дислипидемии и инсулинорезистентности: сходство и различия, дифференцированный подход к терапии// *Фарматека*. 2008. № 15. С. 79–86.
13. Кузнецова А.С., Савочкина А.Ю., Мельников И.Ю. Исследование маркеров фиброза печени у больных с жировым гепатозом в сочетании с атеросклерозом в бассейне висцеральных ветвей брюшной аорты// *В мире научных открытий*. 2015. № 7 (67). С. 115–129.
14. Wanless IR & Lentz JS. Fatty liver steatosis (steatohepatitis) and obesity: an autopsy study with analysis of risk factors. *Hepatology* 1990; 12: 1106–1110
15. Guzzaloni G, Grugni G, Minocci A, Moro D, Morabito F. Liver steatosis in juvenile obesity: Correlations with lipid profile, hepatic biochemical parameters and glycemic and insulinemic responses to an oral glucose tolerance test. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000;24:772–776.
16. Neuschwander-Tetri BA, Clark JM, Bass NM, et al. Clinical, laboratory and histological associations in adults with nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology* 2010;52:913–924
17. Van Ness MM, Diehl AM. Is liver biopsy useful in the evaluation of patients with chronically elevated liver enzymes? *Ann Intern Med* 1989;111:473–478
18. Angulo P, Hui JM, Marchesini G, et al. The NAFLD fibrosis score: a noninvasive system that identifies liver fibrosis in patients with NAFLD. *Hepatology* 2007;45:846–854
19. Cales P, Boursier J, Chaigneau J, Laine F, Sandrini J, Michalak S, Hubert I, Dib N, Oberti F, Bertrais S, Hunault G, Cavaro-Menard C, Gallois Y, Deugnier Y, Rousselet MC. Diagnosis of different liver fibrosis characteristics by blood tests in non-alcoholic fatty liver disease. *Liver Int* 2010; 30: 1346–54
20. Драпкина О.М., Зятенкова Е.В. Поражение почек у пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени и хронической сердечной недостаточностью// *Медицинский совет*, 2015, № 13. С 118–123.
21. Shah AG, Lydecker A, Murray K, Tetri BN, Contos MJ, Sanyal AJ. Comparison of noninvasive markers of fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease// *Clin Gastroenterol Hepatol* 2009; 7: 1104–12.
22. Sanyal AJ. American Gastroenterological Association. AGA technical review on nonalcoholic fatty liver disease// *Gastroenterology* 2002;123:1705–25
23. Choi, Steve Sa, b; Diehl, Anna Mae. Hepatic triglyceride synthesis and nonalcoholic fatty liver disease// *Current Opinion in Lipidology*. June 2008 — Volume 19 — Issue 3 — p 295–300
24. Delarue J, Magnan C. Free fatty acids and insulin resistance// *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2007; 10 (2): 142–148.
25. В.В. Вельков. Свободные жирные кислоты — новый маркер инсулинорезистентности и ишемии// *Поликлиника* 2008, № 4, С. 50–51.
26. Hotamisligil GS. Inflammation and metabolic disorders. *Nature*. 2006; 444 (7121): 860–867.

© Кузнецова Алла Сергеевна, Долгушина Анастасия Ильинична, Ананян Кристина Робертовна,

Акст Елена Владимировна, Гуль Кристина Андреевна, Маркина Алена Юрьевна ( Markina\_alenka@mail.ru ),  
Савочкина Альбина Юрьевна, Сумеркина Вероника Андреевна, Тюльганова Валерия Леонидовна, Коротнева Лолита Евгеньевна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## КРИТЕРИИ ГЕПАТИТА ПРИ ВНУТРИУТРОБНЫХ ИНФЕКЦИЯХ У НОВОРОЖДЕННЫХ АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА

### HEPATITIS CRITERIA FOR INTRAUTERINE INFECTIONS IN NEWBORNS AKTOBE REGION OF KAZAKHSTAN

**M. Mamyrbayeva  
G. Zhumagaliyeva**

**Abstract.** Retrospective analysis of medical records 1544 patients surveyed 938 sera of patients newborns for markers of intrauterine infection. Intrauterine infectious viral hepatitis among newborns occur with a frequency of 1.15 and 2.2%. The incidence rate of hepatitis per 1000 babies: 13.5–21.9–11.5. Promontorium 728 baby with hepatitis, ranging in age from 1 month to 1 year in 2012–2014 Dominated by cytomegalovirus infection (97.3 percent). Signs of impaired excretory function of the hepatobiliary system detected during the first week of life. Cholestasis is a major cause of liver fibrosis. Patients with the neonatal period clinical and laboratory markers of prolonged jaundice, there is a risk of development of liver fibrosis.

**Keywords:** intrauterine infection, neonatal hepatitis, cytomegalovirus, herpes simplex virus

**Мамырбаева Марзья Абдрамановна**

К.м.н., доцент, Западно-Казахстанский государственный медицинский университет имени Марата Оспанова, [mamyrbayeva\\_ta@mail.ru](mailto:mamyrbayeva_ta@mail.ru)

**Жумагалиева Галина Даутовна**

К.м.н., доцент, Западно-Казахстанский государственный медицинский университет имени Марата Оспанова

**Аннотация.** Проведен ретроспективный анализ медицинской документации 1544 пациентов, обследовано 938 сывороток крови больных новорожденных на маркеры внутриутробных инфекций. Внутриутробные инфекционные вирусные гепатиты среди новорожденных встречаются с частотой 1,15–2,2%. Показатель заболеваемости гепатитами на 1000 младенцев: 13,5–21,9–11,5. Промониторировано 728 младенца с гепатитами, в возрасте от 1 месяца до 1 года в 2012–2014 гг. Доминирует цитомегаловирусная инфекция (97,3%). Признаки нарушения экскреторной функции гепатобилиарной системы выявляются в течение первой недели жизни. Холестаз является основной причиной фиброза печени. У больных, имеющих в периоде новорожденности клинико-лабораторные маркеры затяжной желтухи, есть риск развития фиброза печени.

**Ключевые слова:** внутриутробные инфекции, неонатальный гепатит, цитомегаловирус, вирус простого герпеса.

### Введение

Эпидемический процесс вирусных инфекционных гепатитов на современном этапе характеризуется превалированием перинатального инфицирования из-за роста инфицированности женщин детородного возраста широко распространенных герпесвирусов, а также возможности (4–10%) перинатального заражения от матери к младенцу [1,2]. Поражение печени при врожденных инфекциях отмечены у 40–63,3% и желудочно-кишечного тракта — у 48% детей [3,4]. У детей без клинических симптомов есть большая вероятность развития серьезных осложнений вплоть до церебральных параличей, задержки психофизического развития с сенсорными нарушениями, т.е. приводят к резкому снижению качества жизни ребенка [5,6].

Отсутствие специфических клинических признаков, особенности иммунного ответа у детей 1-го года жизни затрудняют распознавание как момента инфицирования, так и хронизации врожденных инфекций, сопровождающихся поражением печени. Полиморфизм вариантов клинического течения гепатитов (от безжелтушных до холестатического с циррозом печени), различная

продолжительность болезни диктуют необходимость ранней диагностики. А своевременная адекватная коррекция затрудняется на амбулаторном этапе [7]. Учитывая недостаточную информацию о клинике печеночной формы внутриутробных инфекций у новорожденных детей, целью исследования явилось изучение клинико-лабораторных критериев внутриутробных вирусных гепатитов у новорожденных, вызванных моно — и микст ЦМВИ.

Внутриутробные инфекции составляют одну треть перинатальной смертности и распространенность ее составляет от 1:3000 до 1:100. 63% детей с внутриутробным инфицированием рождаются без признаков инфицирования, 24% — с сомнительными признаками инфекции и только 13% — с клиническими проявлениями [8]. Микроорганизмы усугубляют состояние функционально незрелой печени у новорожденных и способствуют развитию гепатита с недостаточностью [9]. ЦМВИ может привести к развитию легкой формы неонатальной печеночной недостаточности, также к формированию фиброза печени или портальной гипертензии и редко к циррозу с хроническим холестазом. Поражение печени выявляют у 40–63% новорожденных детей, инфицированных

Таблица 1. Заболеваемость инфекционными вирусными гепатитами по г. Актобе

Категории детей	2012 год	2013 год	2014 год
Количество детей до 1 года	8563	8352	9054
Количество детей с инфекционными вирусными гепатитами	116	183	104
%	1,35	2,2	1,15
Показатель на 1000	13,5	21,9	11,5

цированных ЦМВИ [10] и при герпетической инфекции [11]. Раннее проявление врожденного гепатита, вызванного CMV у новорожденных, нередко бывает затруднено, вследствие отсутствия четкой и ясной клинической картины и с умеренным явлением цитолиза в раннем неонатальном периоде, который в большинстве случаев не диагностируется своевременно и в дальнейшем приводит к тяжелым негативным последствиям.

Поражение печени при врожденных инфекциях отмечены у 40–63,3% и желудочно-кишечного тракта — у 48% детей [12]. ЦМВ-гепатит в структуре острых желтушных гепатитов вирусной этиологии составляет 1% [13]. Интенсивно изучаются внутриутробные и приобретенные вирусные гепатиты, обусловленные цитомегаловирусом (ЦМВ), вирусом Эпштейн-Барр, вирусом простого герпеса (ВПГ) I, II, VI типов [14,15]. Полиморфизм вариантов клинического течения гепатитов (от безжелтушных до холестатического), различная продолжительность болезни диктуют необходимость ранней диагностики и как можно ранней терапии.

### Материалы и методы

С целью этиологической верификации внутриутробных инфекций проведено обследование 938 сывороток крови больных детей в возрасте от 3-х дней до 12 месяцев жизни, находившихся на стационарном лечении в городской и областной детских клинических больниц г. Актобе 2013–2015 гг. Антитела IgM и IgG к антигенам ЦМВ, ВПГ, токсоплазма, хламидиоза определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) «BioRad» с реагентами «Вектор-Бест», (Россия). Параллельно, при необходимости, определяли методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) ДНК ЦМВ в различных биосубстратах (кровь, моча). Инфекционные вирусные гепатиты выставлены на основании анамнестических, клинических данных и результатов лабораторного обследования.

Нами мониторировано 432 младенца с гепатитами, находившихся на стационарном лечении в детских больницах г. Актобе, в последующем амбулаторно в возрасте от 1 месяца до 1 года в 2012–2014 гг. Исследования проводили в лицензированной клинико-диагностической лаборатории «ОЛИМП» (лицензии № 30, ЛП00545ДМ, серии 0007678 от 11 марта 2008 г., прошел международную

аккредитацию ISO 15189:2012). Клинико-лабораторные показатели поражения печени оценивали по желтухе с охватом зон по Крамеру, размерам печени и селезенки. Содержание общего билирубина с фракциями, активность печеночно-клеточных ферментов определяли анализатором Cobas 6000 с использованием реагентов фирмы «Roche С6000» (Швейцария). Группой сравнения служили 240 пациентов с неонатальной желтухой. Мониторинг биохимических показателей проводился в возрастные периоды 5–7, 14–20, 30–45 — й день жизни и далее с частотой 2 недели до — 4,5 мес. Статистическую обработку проводили с помощью стандартного пакета программ Statistica 7.0.

Дискуссия и результаты. Изучение медицинской документации поликлиник г. Актобе показало, частота неонатальной желтухи среди новорожденных г. Актобе составляет в разные годы различно без выявления тенденций в пределах 4,9–7,5% (показатель на 1000 детей первого года жизни 48,7–75,5). Дальнейшее обследование их методом ИФА и ПЦР обнаружило персистенцию вирусов в периферической крови. Внутриутробные инфекционные вирусные гепатиты среди новорожденных встречаются с частотой 1,15–2,2%, что согласуется с литературными данными [16]. А показатель заболеваемости гепатитами на 1000 младенцев разнонаправлено: 13,5–21,9–11,5 (таблица 1)

Внутриутробный гепатит был вызван ЦМВ в виде моно-инфекции — у 464 (63,7%), ко-инфекции, обусловленной ассоциацией ЦМВ+ВПГ, — у 264 (36,3%) пациентов. Анализ клинико-лабораторных критериев проведен в зависимости от этиологии: ЦМВИ — 1 группа, микст ЦМВ+ВПГ — 2 группа, а также гестационного возраста: А группа — недоношенные (ниже 38 нед гестации) с ЦМВИ; Б -доношенные (38 недель гестации и выше).

В 1А группе — 112 недоношенных с врожденным ЦМВ-гепатитом, во 2А — 128 недоношенных с микст-инфекцией ЦМВ+ВПГ. Гестационный срок был одинаков в обеих группах: 1А 34,5±0,43; 2А — 34,38±0,52 недель беременности. Масса тела при рождении в 1А составила: 2342,0±100,1г; во 2А — 2309,0± 125,9г; длина тела в 1А — 46,25±0,82 см; во 2А — 44,43±1,18 см. Индекс массы тела низкий в 100% в обеих группах: 1А –10,75±0,24; 2А — 11,55±0,24, аналогично как в категории детей с не-

Таблица 2. Динамика биохимических показателей у детей с врожденным гепатитом в зависимости от возраста

Показатели		Общий билирубин (ОБ) ммоль/л	Прямой билирубин (ПБ) ммоль/л	ПБ% от ОБ	Гамма-глутамин-транспептидаза (ГГТП) Ед/л	Щелочная фосфатаза (ЩФ) Ед/л	АЛТ Ед/л	АСТ Ед/л
нормы		3,4–20,7	0,83–3,4	<15–20%	До 203,00	До 462,0	До 57,0	До 89,0
5–7 дней	M±m	258,3±72	18,9±8,2	7	634±109	385±183	28,5±18	39,8±29,1
14–20 дней	M±m	267,3±38	25,0±12,4	9	574,3±94	535±119,1	69,4±6,2	55,4±15,2
1–1,5 мес	M±m	142,5±44	46,7±10,4	33	478,3±80,2	489,3±25,6	59,3±6	102,6±13,2
2–2,5 мес	M±m	89,3±12	45,0±4,6	50	470,8±78,6	318,3±66,9	77,9±4,7	127,1±7,2
2,5–3 мес	M±m	80,9±7,4	50,5±13,8	63	247,3±30,7	546±124,7	105±6,7	106,4±10,6
3–3,5 мес	M±m	82,2±15	39,9±5,5	50	140,6±41	5046±164,7	96±19,1	190,5±41,1
4–4,5 мес	M±m	72,3±6	34,6±7,2	49	117,2±16	574±194,3	85±11,3	141,7±18,7

онатальной желтухой. Из клинико-anamnestический данных рожениц стало известно, что большинство женщин во время беременности перенесли острую респираторно-вирусную инфекцию и инфекционно — воспалительные заболевания органов мочевого выделения. У 90% отмечалась патология органов кроветворения за счет железодефицитной анемии 1–2 степени тяжести. Развитие гестозов с угрозой прерывания беременности в 10%.

При рождении в обеих исследуемых группах было значительное количество недоношенных с тяжелым состоянием, чем в группах сравнения и доношенных с моно — и микст ЦМВИ. Состояние оценивалось в 1А группе как тяжелое в 67,8% (76; P1–2<0,001), очень тяжелое в 7,1% (8; P1–2<0,001), крайне тяжелое в 14,3% случаев (16; P1–2<0,001) в отличие от групп сравнения (42,30%) и доношенных (1Б — P1–2<0,001). Во 2А группе недоношенных состояние было оценено как тяжелое в 34,4% (P1–2<0,001; P3–4<0,001), очень тяжелое в 21,85% (P1–2<0,001; P3–4<0,001) и крайне тяжелое в 9,37случаях (P1–2<0,001; P3–4<0,001).

Клинические проявления поражения ЦНС характеризовались выраженностью у основной части недоношенных. Они проявлялись в 1А группе в виде рвоты в 19–21,4% (P1–2<0,001), повышения тонуса мышц в 57,14% (64; P1–2<0,001), что достоверно выше, чем в группах сравнения (24–23,0%) и 1Б (72; P3–4<0,001). В то время как при гепатите, обусловленном ЦМВ+ВПГ, отмечалось снижение мышечного тонуса у большей части пациентов (65,6%, P1–2<0,001; P3–4<0,001), чем при моноинфекции — 42,85% (P1–2<0,001). В 1А группе гипертонус мышц сопровождался тремором подбородка в 57,14% (P1–2<0,001; P3–4<0,001), присоединялся к тремору подбородку тремор пальцев рук и ног в 21,42% (24; P1–2<0,05), что достоверно выше, чем в группе неонатальных желтух (11,53%). Во 2А группе тремор подбородка наблюдали у 40,6% (52; P1–2<0,001; P3–4<0,001), тремор подбородка, пальцев рук и ног — у 59,37% больных (76;

P1–2<0,001; P3–4<0,05). Тонические судороги в 2 раза чаще отмечались во 2А группе (12; P<0,001), тогда как в 1А группе зафиксировано только 4 случая. Физиологические рефлексы вызывались у 53,12%, но быстро угасали у 40,62% (52±4,34, P<0,05) в 1А группе. И, наоборот, они были угнетенными у младенцев 2А группы (46,9%, P1–2<0,05) и быстро угасали в 40,6% случаев.

Подкожно-жировая клетчатка у недоношенных детей независимо от этиологии была слабо и умеренно развита в сравнении с группой сравнения и доношенными детьми с врожденным моно — и микст-гепатитом (P1–2<0,001; P3–4<0,001) и сопровождалась пастозностью у 8 больных в 1А группе.

Живот, в основном, был вздутым в обеих группах в 64,3% и 75% соответственно. При этом венозная сеть на коже живота выявляли у всех недоношенных с ЦМВ-гепатитом и у большей части с микст-ЦМВ+ВПГ 84,4%. Желтушный синдром проявлялся во всех группах больных на вторые-третьи сутки жизни. По сроку появления, охвата зон по Крамеру, длительности желтухи наблюдаемые группы существенно не отличались между собой, лишь в группы детей 1А она была продолжительнее (P1–2<0,05), чем у остальных. Гепатомегалию чаще фиксировали в группе больных с микст-ЦМВИ-гепатитом (P1–2<0,05) и в сочетании со спленомегалией. Данный синдром в 1А группе встречался реже (32,1%), из них только увеличение печени — в 25%, селезенки — в 7,14% (P1–2<0,001). Размеры печени практически не отличались у пациентов во всех обследованных группах. Геморрагический синдром наблюдался в виде кровотечения у четверти 2А группы, геморрагической сыпи в 9,4% случаях (P1–2<0,05). В 1А группе геморрагические проявления встречались реже: сыпь — у 7,1%, кровотечение — у 10,7% пациентов. Со стороны сердца отмечали преимущественно приглушенность тонов. Анализ биохимических показателей выявил следующие достоверные изменения (таблица 2).

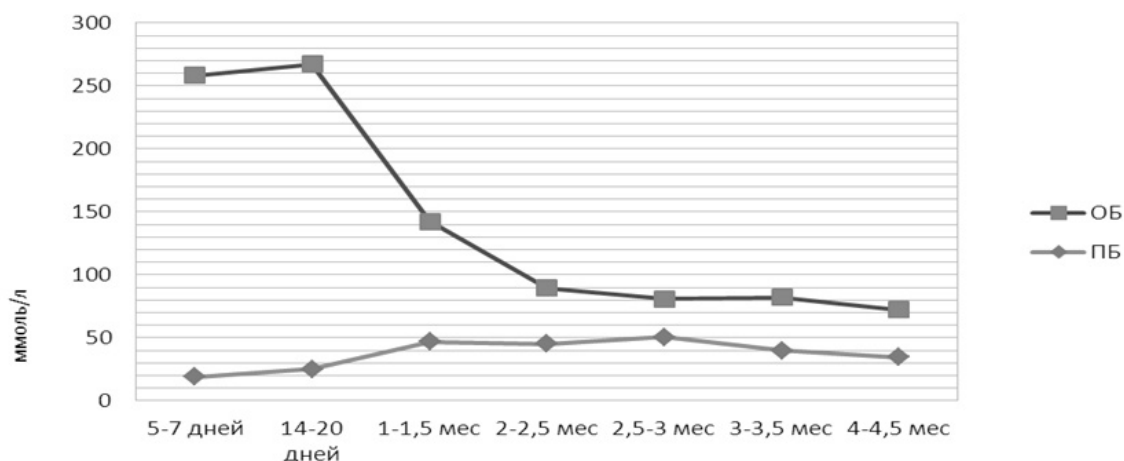


Рисунок 1. Динамика ОБ и ПБ в сыворотке крови у новорожденных с врожденным гепатитом.

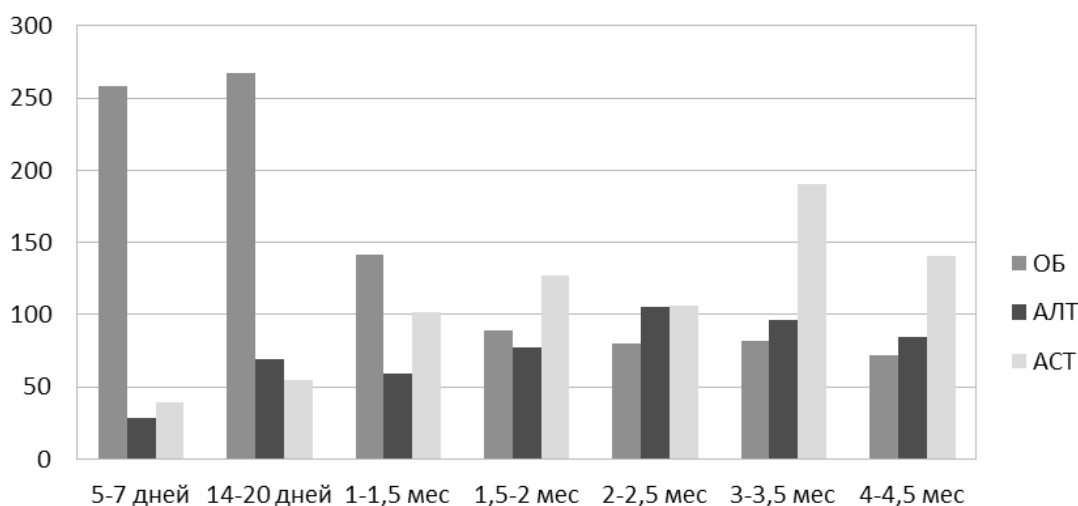


Рисунок 2. Динамика показателей ОБ, АЛТ и АСТ в зависимости от возраста.

У всех новорожденных к моменту рождения отмечается высокий уровень общего и прямого билирубина (рисунок 1). Уровень общего билирубина у детей в возрасте 5–7 и 14–20 дней был достоверно более высоким по сравнению с другими возрастными группами ( $p < 0,05$ ). В дальнейшем процент прямого билирубина постепенно повышался, наряду со снижением общего билирубина. Также уровень прямого билирубина статистически достоверно был выше в группах с возрастом 1–1,5; 2–2,5 и 2,5–3 месяца по сравнению с оставшимися группами ( $p < 0,05$ ).

Процент прямого билирубина по отношению к общему превысил 15–20%, начиная с 1–1,5 месяцев, достигая максимума в возрасте 2,5–3 месяцев (рисунок 1). Выраженная гипербилирубинемия за счет прямой фракции, превышающая 15–20% у исследуемых больных с врожденным гепатитом, и имеющая тенденцию к нарастанию к 4–4,5 месяцев свидетельствует о нарастании холестаза [17].

Характерным признаком цитолитического синдрома является повышение уровня индикаторных ферментов — АЛТ и АСТ (рисунок 2). Эти ферменты продуцируются гепатоцитами и используются для определения оценки тяжести повреждения печени. Диагностическую ценность наравне с повышением активности АЛТ и АСТ имеет значение и их локализация в гепатоците. АЛТ является цитоплазматическим ферментом, поэтому повышение его активности говорит о повреждении цитоплазматических мембран печени. АСТ относится к митохондриально-цитоплазматическим ферментам, с преобладанием в митохондриях. Поэтому повышение его активности говорит о более глубоком поражении печени.

Характерным признаком цитолитического синдрома является повышение уровня индикаторных ферментов — АЛТ и АСТ (рисунок 3). Эти ферменты продуцируются гепатоцитами и используются для определения

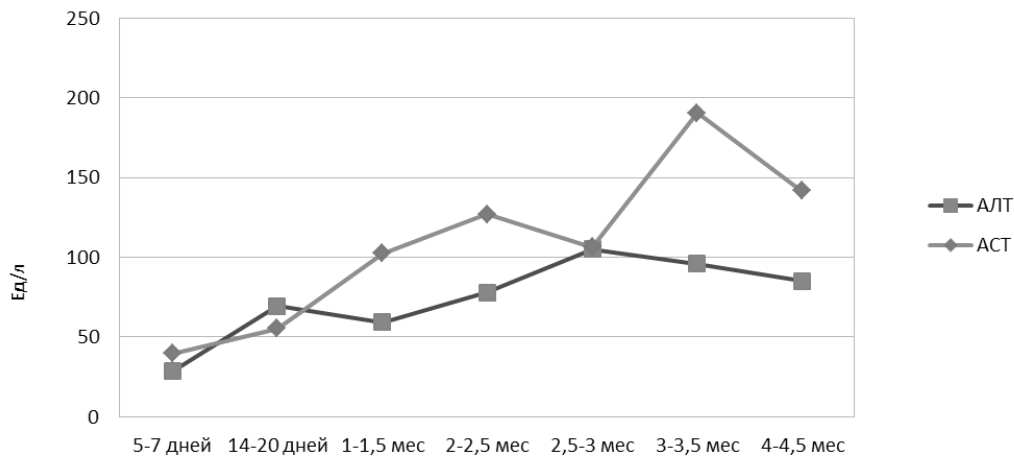


Рисунок 3. Динамика показателей ферментов печени АЛТ, АСТ при врожденном гепатите.

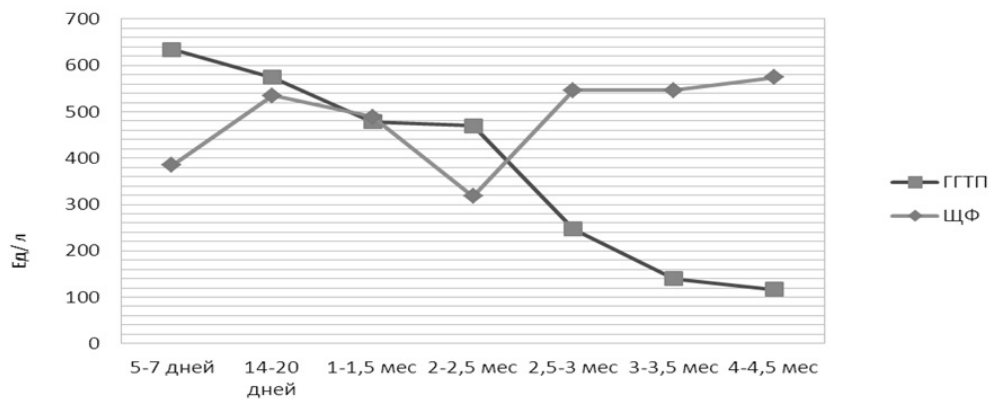


Рисунок 4. Динамика  $\gamma$ -глутамилтранспептидазы (ГГТП) и щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови новорожденных с врожденным гепатитом

оценки тяжести повреждения печени. Диагностическую ценность наравне с повышением активности АЛТ и АСТ имеет значение и их локализация в гепатоците. АЛТ является цитоплазматическим ферментом, поэтому повышение его активности говорит о повреждении цитоплазматических мембран печени. АСТ относится к митохондриально-цитоплазматическим ферментам, с преобладанием в митохондриях. Поэтому повышение его активности говорит о более глубоком поражении печени. Активность АЛТ у детей в возрасте 5–7 и 14–20 дней достоверно низкая, чем у детей в остальных возрастных группах ( $p < 0,05$ ), начинает достоверно повышаться с 1–1,5 месяцев ( $p < 0,05$ ), и достигает максимальных значений к трем, 4–4,5 месяцам жизни. Показатели АСТ всегда преобладали над показателями АЛТ (рисунок 3). Однако, показатели АСТ низкие в возрасте 5–7 и 14–20 дней ( $p < 0,05$ ), начинают достоверно повышаться с 1–1,5 месячного возраста, достигая максимальных цифр в 3,5–4,5 месяцев жизни. Значительное превышение АСТ над показателями АЛТ говорит

о более глубоком поражении печени у обследуемых детей. Отмечается нарастание уровня трансаминаз, особенно АСТ к 4–4,5 месяцам, что указывает на сохранение и прогрессирование патологического процесса в гепатоцитах (рисунок 3).

Холестатический синдром внутривисочного холестаза характеризуется нарушением оттока желчи из печени. В результате увеличения объема гепатоцитов происходит сдавление ими желчных протоков и нарушение дренажной функции. Повышение в крови активности ЩФ и ГГТП — наиболее достоверные маркеры синдрома внутривисочного холестаза. Так как эти ферменты расположены рядом с друг другом в мембране эпителия желчевыводящих протоков, при повреждении мембран их активность в крови поднимается в равной степени. У обследуемых детей с врожденным гепатитом, на первой неделе жизни наблюдался достоверно высокий уровень ГГТП у детей в возрасте 5–7 и 14–20 дней ( $p < 0,05$ ), который постепенно снижался до нормальных показате-

лей к 3–3,5 месяцу. Отмечались значительные колебания ЩФ (таблица 1, рисунок 4).

Так же к возникновению холестатического синдрома может привести отторгающиеся цитомегалические клетки, заполняющие просвет желчных протоков тем самым приводя к нарушению вязкости и реологических свойств желчи, а именно к замедлению тока и сладжу желчи, приводя к внутрипеченочному холестазу. ГГТП располагается и в мембранах гепатоцитов вблизи билиарного полюса, поэтому повышение активности ГГТП также является признаком цитолиза. При острых гепатитах ГГТП повышается раньше, чем активность трансаминаз. Самый чувствительный показатель холестатического синдрома печени является ГГТП, чем АСТ, АЛТ и ЩФ.

В наших исследованиях у детей с гепатитом количество ГГТП достоверно ( $p = 0,05$ ) начинает увеличиваться с 5–7 дней жизни при нормальной ЩФ, т.е. раньше, чем количество щелочной фосфатазы. Активность ГГТП у новорожденных в 1–1,5 и 2–2,5 месяца достоверно ниже, чем в 5–7 и 14–20 дней и достоверно выше чем в 2,5–3 и 3–3,5 месяца ( $p < 0,05$ ). Изначально высокий уровень ГГТП может быть связан с травмой гепатоцитов и желчных протоков печени. Снижение его уровня предполагает устранение причины холестаза. Остающийся высоким уровень ЩФ может быть связан с заболеваниями костной системы у детей (рахит), так как ЩФ участвует в обмене фосфорной кислоты в организме. Холестаз является основной причиной цирроза, особенно при заболеваниях печени у детей.

Таким образом, признаки нарушения экскреторной функции гепатобилиарной системы при внутриутробном гепатите выявлены в течение первой недели жизни, и холестаз является основной причиной формирования фиброза печени. От активности патологического процесса и формирования фиброза зависит переход острой формы в хроническую, терапия которой трудно корректируется.

Были выявлены клинико-лабораторные маркеры тяжелой желтухи, имеющие в периоде новорожденности:

- ◆ выраженную гипербилирубинемия за счет прямой фракции, превышающую 15–20%, с тенденцией к нарастанию, при нормальном уровне общего билирубина;
- ◆ высокий уровень ГГТП с первой недели жизни при нормальном показателе ЩФ;
- ◆ нарастание синдрома цитолиза (повышение активности АЛТ и АСТ) с преобладанием АСТ — совпадали с результатами чаще высокого и умеренного риска фиброза, т.е. эти маркеры косвенно свидетельствуют о риске развития фиброза печени.

Результаты исследования согласуются с литературными данными, что исходы инфицирования ЦМВ могут быть различными: от бессимптомной формы с адекватным иммунным ответом на внедрение вируса или формирования персистирующей инфекции до тяжелых генерализованных форм и смерти. Это связано с различными механизмами повреждения гепатоцитов при врожденном гепатите: от прямого действия вируса на печень — вирусного цитолиза, до опосредованного действия через иммунную систему и смешанной формы [18]. Исход врожденного острого цитомегаловирусного гепатита у наших больных был различным [19]. Полное выздоровление наблюдалось в 83,4% детей первого года жизни при своевременной терапии нецитотоксом. В случаях саногенеза на фоне отсутствия клинических проявлений возможны длительные биохимические отклонения в виде холестаза в 1,24%, цитолиза в 5,46% и гипербилирубинемии прямой фракции до 2–5 месяцев в 2,98% случаев. Фиброз и цирроз печени развивался постепенно в 0,99%, так и прогрессивно с летальным исходом в 1,98% пациентов. Геморрагический синдром явился причиной смерти в 3,97% больных.

Вместе с тем признавая, что ЦМВ является гепатотропным агентом, традиционно считается, что этот вирус, в первую очередь, поражает желчные протоки с развитием холестатического гепатита и пороками развития желчных протоков [20,21].

Тяжелое поражение печени с развитием холестатической желтухи и формированием фиброза печени встречается с частотой 1:2500 до 1:10000 родов [22]. Наблюдается значительная вариабельность клинического течения врожденного гепатита от бессимптомной формы до тяжелых холестатических форм с развитием фиброза и цирроза печени. Течение неонатальных гепатитов ЦМВ-этиологии бывает «более тяжелым и проявляется длительной холестатической желтухой в 91,7% с развитием ахолии и уробилии у каждого третьего ребенка, гепато-, спленомегалией, формированием выраженного фиброза у 50,0% детей. В то время как у пациентов с HCV-инфекцией и HCV в сочетании с ДНК-инфекцией (CMV, HBV), фиброз печени зарегистрирован не был» [23]. То есть в течении цитомегаловирусного гепатита патологические морфологические изменения быстро прогрессируют по сравнению с вирусными гепатитами С и В, традиционно считающимися медленными инфекциями с постепенным переходом в хроническую форму, впоследствии с исходом цирроза печени.

### Заключение

Следует отметить, что диагнозами направившей организации при поступлении были не внутриутробная инфекция, а конъюгационная и/или неонатальная

желтуха. Под диагнозом «неонатальная желтуха» от поликлиник г. Актобе в 2010 году направлены 199 (5,6% от общего числа родившихся новорожденных, территориально прикрепленных), 2011 г.— 304 (8,1%), 2012 г.— 407 (9,8%), 2013 г.— 433 (9,8%) новорожденных. Число госпитализаций новорожденных с диагнозом «неонатальная желтуха» и младенцев старше 1 месяца жизни с диагнозом «конъюгационная желтуха» увеличилось. Из их числа в 2011 г. 5,59% находилось на стационарном лечении с окончательным подтвержденным диагнозом «фетальный гепатит» — 5,59%, в 2012 г.— 1,47%. Только в областной клинической больнице ежегодно количество больных с инфекционными вирусными гепатитами составляет от 4% до 4,8% от общего числа пролеченных. Это свидетельствует о противоречивых тенденциях распространенности поражения печени. И в связи с непредсказуемыми течениями неонатальной желтухи врачи амбулаторного звена согласно стратегии интегрированного ведения болезней детского возраста при выявлении «тяжелой желтухи» сразу направляют новорожденного в стационар.

Повреждение печени у новорожденных при внутриутробных инфекциях сопровождается нарушением ее функции, которые могут привести к фиброзу и циррозу. Гепатоцеллюлярное и холестатическое поражение печени приводит к повышению уровня билирубина в сыворотке крови. Выраженная гипербилирубинемия за счет прямой фракции, превышающая 15–20% у исследуемых больных с гепатитом, и имеющая тенденцию к нарастанию к 4–4,5 месяцев свидетельствует о нарастании холестаза [11].

Активность сывороточных трансаминаз использовалась как ориентировочный критерий степени активности хронического гепатита. Возрастание активности АлАТ и АсАТ в 1,5–2 раза выше нормы расценивалось как минимальная активность гепатита, в 2–5 раз — как низкая, в 5–10 раз как умеренная и — более 10 раз как выраженная активность патологического процесса [24].

У наших исследуемых детей отмечается достоверное ( $p < 0,05$ ) повышение активности ферментов, начиная с 1,5 месяцев жизни, с преобладанием уровня АСТ над АЛТ на фоне общей тенденции нормализации уровня общего билирубина. Соотношение АСТ/АЛТ увеличивается и становится больше, чем 1, начиная с 1–1,5 месяцев жизни до 4–4,5 месяцев, что указывает на прогрессирование фиброза. Холестаз является основной причиной цирроза, особенно при заболеваниях печени у детей. Для холестаза характерно изменение уровня щелочной фосфатазы. Самый чувствительный показатель холестатического синдрома печени является ГГТП. Была определена причинно-следственная связь риска развития врожденных инфекционных гепатитов с факторами

перинатального периода. Полученные данные свидетельствуют, что у детей отклонения состояния здоровья отмечались уже в интра-и неонатальном периодах. Установлено, что факторами риска развития фетального гепатита с гипербилирубинемией, у новорожденных являются внутриутробные инфекции с преимущественно перинатальным поражением ЦНС. При этом хорошая корреляция ( $R=0,08$ ) регистрируется при наличии антител ЦМВ у женщин во время беременности. Наиболее значимый фактор риска развития ВУИ является самопроизвольный выкидыш (76%), корреляционная связь средней силы ( $R=0,55$ ). Частой патологией беременности является анемия (хорошая корреляционная связь  $R=0,48$ ), инфекционные заболевания любых органов и систем у матери во время беременности, особенно ОРВИ, нарушения липидного обмена в виде ожирения, аллергические заболевания в виде поллиноза. Полученные данные подтверждают то что, отличительной особенностью детей с врожденным гепатитом в раннем неонатальном периоде от новорожденных с неонатальной желтухой является наличие конъюгированной и неконъюгированной гипербилирубинемии, повышение уровня трансаминаз, гаммаглутамилтранспептидазы и щелочной фосфатазы. Определены прогностически неблагоприятные критерии раннего развития фиброза печени.

Итак, критериями гепатита при внутриутробных инфекциях у новорожденных является то, что в этиологической структуре внутриутробных гепатитов доминирует цитомегаловирусная инфекция (97,3%), в том числе моноинфекция выявлена у 33% детей, микстинфекция диагностируется в 60,7% случаев. У большинства больных признаки нарушения экскреторной функции гепатобилиарной системы выявляются в течение первой недели жизни. Холестаз является основной причиной фиброза печени. У больных, имеющих в периоде новорожденности клинико-лабораторные маркеры затяжной желтухи, есть риск развития фиброза печени.

Результаты исследования согласуются с литературными данными, что исходы инфицирования ЦМВ могут быть различными: от бессимптомной формы с адекватным иммунным ответом на внедрение вируса или формирования персистирующей инфекции до тяжелых генерализованных форм и смерти. Это связано с различными механизмами повреждения гепатоцитов при врожденном гепатите: от прямого действия вируса на печень — вирусного цитолиза, до опосредованного действия через иммунную систему и смешанной формы [18]. Исход врожденного острого цитомегаловирусного гепатита у наших больных был различным [19]. Полное выздоровление наблюдалось в 83,4% детей первого года жизни при своевременной терапии неоцитотоксом. В случаях саногенеза на фоне отсутствия клинических проявлений возможны длительные биохимические от-

клонения в виде холестаза в 1,24%, цитолиза в 5,46% и гипербилирубинемии прямой фракции до 2–5 месяцев в 2,98% случаев. Фиброз и цирроз печени развивался постепенно в 0,99%, так и прогрессивно с летальным исходом в 1,98% пациентов. Геморрагический синдром явился причиной смерти в 3,97% больных.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках грантового научно-технического проекта Министерства образования и на-

ки Республики Казахстан «Научная разработка ранней диагностики и лечения вирусных инфекционных гепатитов у новорожденных и детей раннего возраста». Выражаем глубокую благодарность заместителю начальника Департамента областного здравоохранения Маметжановой Гульнар Шукуровне за предоставленную возможность работы в лечебно-профилактических учреждениях г. Актобе, и директору Клинико-Диагностической Лаборатории «ОЛИМП» г. Актобе Мукашеву Талгат Жанабаевичу за проведенные исследования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рейзис А. Р. Современные проблемы вирусного гепатита С у детей и подростков /А.З.Рейзис// Клинические перспективы гастроэнтерологии, гепатологии. — 2003. — № 5. — С. 23–26.
2. Damato E. J. Citomegalovirus infection: perinatal implications/ E. J. Damato, C. W. Winnen //J. Obstet.Gynecol.Neonatal. Nurs. — 2002. — N31(10). — P. 86–92.
3. Левина Е. Е. Цитомегаловирусная инфекция и ее роль в патологии желудочно-кишечного тракта/Е.Е.Левина//Детская больница. — 2006. — С. 42–46.
4. Орехов К. В. Врожденная цитомегаловирусная инфекция/ К. И. Орехов, М. В. Голубева, Л. Ю. Барычева // Детские инфекции. — 2004. — № 1. — С.49–55.
5. D. Goedhals, J. Kriellb, M. L. Hertzog, M. N. Janse van Rensburg, 2008. Human cytomegalovirus infection in infants with prolonged neonatal jaundice. Journal of Clinical Virology, 43(2):216–218.,
6. Schleiss M. R., 2013. Cytomegalovirus in the Neonate: Immune Correlates of Infection and Protection. Clin Dev Immunol., pp: 501–801.
7. Мамырбаева М. А. Трудности мониторинга неонатальных желтух на уровне ПМСП/ М. А. Мамырбаева, Г. Д. Жумагалиева, С. В. Ким, Ж. Х. Исангузина, А. Б. Шильманова//Батыс Казахстан медицина журналы. — 2014. — № 4 (44). — С. 19–21.
8. Соболева Н.Г., Т. И. Шаповалова, И. Г. Осипова, 2009. Результаты двойного слепого рандомизированного исследования клинической эффективности ликопида в комплексном лечении цитомегаловирусного гепатита у детей. Педиатрия, 87 (2):100–103.
9. Pediatric Gastrointestinal and Liver Disease (Fourth Edition)2011, Pages 728–740.e4 68 — Neonatal HepatitisScott Nightingale, Vicky Lee Ng
10. Ожegov А. М., Мальцев С. В., Мязишева Л. С. Клинико — иммунологическая характеристика активной цитомегаловирусной и сочетанной с ней инфекции у детей первого года жизни / Педиатрия —2001 № 2-с 26–31.
11. Дятряева А.В., Мухина Ю. Г., Дяттерев Д. Н. Синдром холестаза у новорожденных детей. Пособие для врачей. — Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. В.И Кулакова. Российский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, 2011.-36с.
12. 1616. Stagno S., Britt W., 2006. Cytomedalovirus infections. In: infections Diseases of the fetus newborn infant. 6 thed, Eds, Remington JS, Klein JO, Wieson CB, Baker CJ. Philadelphia.Elserier Sannders.
13. Vancikova Z., T. Kuserova, L. Pelikan et al., 2004. Perinatal Cytomegalovirus Hepatitis: to Treat or not to Treat with Ganciclovir. Journal Peadiatr. Child. Health., 40:444–448.
14. Ehrmann J., I. Kirc, 2000. Characterictics of still unknow hepatotrophic viruses and clinical picture of the disease. Vnitz. Lek., 46(4):235–239.
15. Учайкин В. Ф., Т. В. Чередниченко, А. В. Смирнов, 2012. Инфекционная гепатология: руководство для врачей. М: ГЭОТАР — Медиа, 640 с.
16. Vancikova Z., T. Kuserova, L. Pelikan et al., 2004. Perinatal Cytomegalovirus Hepatitis: to Treat or not to Treat with Ganciclovir. Journal Peadiatr. Child. Health., 40:444–448.
17. Textbook of Clinical Pediatrics 2012, pp1987–2001, Neonatal Cholestasis, Dr. Ronen Amon M. D., Dr. Fredric J Suchy M. D.
18. Ki T. S., Y.K Dae, M. S. Kyoung, J. K. Dong, 2013. Biomarkers of Liver Fibrosis. Clinical Chemistry, 62:33–122.
19. Жумагалиева Г. Д., Мамырбаева М. А. Исходы острого цитомегаловирусного гепатита у детей раннего возраста // Справочник врача общей практики. — 2015. — № 11–12. — С. 95–99.
20. Hannam S., M. McDonnell, J. M. Rennie, 2000. Investigation of prolonged neonatal jaundice. Acta Paediatr., 89: 694–697;
21. Hartley J. L., M. Davenport, DA Kelli., 2009. Atreziya biliary putey. Lancet, 374 (9702):1704–1713.
22. McKiernan P.J., 2002. Neonatal cholestasis. Semin Neonatol. 7:153–165.
23. Ефремова Н.А., Л. Г. Горячева, Н. В. Рогозина и др., 2012. Клинико-лабораторные особенности неонатальных гепатитов различной этиологии. Детские инфекции, 11(2):8–11.
24. Учайкин В. Ф., Смирнов А. В., Чуелов С. Б., Россина А. Л., и др. Цитомегаловирусный гепатит у детей: клинические варианты течения.//Детские инфекции, приложение «Актуальные вопросы инфекционной патологии и вакцинопрофилактики: материалы Седьмого конгресса детских инфекционистов России». — 2008. — с. 149.



# АНАЛИЗ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА В СВЯЗИ С БИОЛОГИЧЕСКИМ ВОЗРАСТОМ И КОНСТИТУЦИЕЙ ЧЕЛОВЕКА (В ПУБЕРТАТНОМ ВОЗРАСТЕ)

## ANALYSIS OF INDIVIDUAL VARIABILITY IN THE HORMONAL STATUS IN CONNECTION WITH BIOLOGICAL AGE AND CONSTITUTION OF MAN (AT PUBERTY)

**E. Titova**  
**E. Savostyanova**  
**E. Savchenko**  
**N. Sarycheva**  
**E. Anokhina**

*Summary.* One of the most topical problems of auxology and constitucionales biology is individual typological specifics of growth processes in connection with General somatic development and Constitution. The pace of individual development represent fundamental biological characteristics of the human body, and their obvious changes (acceleration and retardation) estimate.

*Keywords:* endocrine formula, pubertal age, morphological and hormonal status and hormonal profile.

**Титова Елена Петровна**

К.б.н., доцент РУДН, Москва, РФ  
elpetat@yandex.ru

**Савостьянова Евгения Борисовна**

К.б.н., профессор,  
Российский Государственный Университет  
Физической Культуры, Спорта,  
Молодёжи и Туризма, Москва, РФ  
elpetat@yandex.ru

**Савченко Елена Леонидовна**

Ст. преп., Российский Государственный Университет  
Физической Культуры, Спорта, Молодёжи и Туризма,  
Москва, РФ  
elpetat@yandex.ru

**Сарычева Наталья Николаевна**

Ст. преп. РУДН, Москва, РФ  
sarycheva\_nn@pfur.ru

**Анохина Елена Владимировна**

Ст. преп. РУДН, Москва, РФ  
anokhina\_ev@pfur.ru

*Аннотация.* Одной из наиболее актуальных проблем современной аукологии и конституциональной биологии является индивидуально-типологическая специфика ростовых процессов в связи с общими соматическим развитием и конституцией. Темпы индивидуального развития представляют собой фундаментальную биологическую характеристику организма человека, а их выраженные сдвиги (акселерация и ретардация) оцениваются как фактор риска в ходе нормального онтогенеза.

*Ключевые слова:* эндокринная формула, пубертатный возраст, морфо-гормональный статус, гормональный профиль.

### Введение

**В** современной антропологии конституция человека правомерно рассматривается в качестве основной биологической характеристики целостного организма, а проблема изучения реальной биохимической основы конституциональных типов, исходящая из того, что за разными вариантами нормы скрываются различные способы адаптации организма к условиям среды. Специфические сочетания скоростей роста на протяжении перипубертатного периода способствуют формированию разнообразных морфофенотипов, в которых отражён полиморфизм телосложения.

К многочисленным факторам, наиболее эффективно влияющим на дифференциацию как темпов развития, так и соматического статуса, несомненно, принадлежат гормоны.

### Методы и организация исследований

В настоящем исследовании применен биотипологический подход к анализу индивидуальной изменчивости гормонального статуса в зрелом пубертасе мужчин.

Для решения этой задачи мы придерживались следующих методических предпосылок:

Таблица 1. Основные соматотипы 15-летних мальчиков

Признаки	Типы				
	Астеноидный n=24	Торакальный n=26	Мускульный n=30	Дигестивный n=15	M±m(M) n=100
Основная формула телосложения	M <sub>1,4</sub> E <sub>1,5</sub>	M <sub>1,9</sub> E <sub>2,1</sub>	M <sub>2,5</sub> E <sub>2,0</sub>	M <sub>2,0</sub> E <sub>2,7</sub>	M <sub>1,9</sub> E <sub>1,9</sub>
Показатель андроморфии*	79,7	85,0	87,6	82,4	84,120
Формула полового развития	P <sub>2,8</sub> Ax <sub>2,1</sub>	P <sub>3,1</sub> Ax <sub>2,3</sub>	P <sub>3,2</sub> Ax <sub>2,8</sub>	P <sub>3,3</sub> Ax <sub>2,4</sub>	P <sub>3,2</sub> Ax <sub>2,4</sub>
Тестостерон, нг/мл	1,03	0,93	1,20	0,88	1,09±0,42
Эстрадиол, пг/мл	38,5	27,1	29,6	25,4	29,0±15,0
Прогестерон, нг/мл	0,13	0,11	0,11	0,15	0,13±0,08
СТГ, нг/мл	1,51	1,23	1,68	1,12	1,45±1,08
Кортизол, нг/мл	126,0	120,2	132,6	108,0	124,5±49,4

\* утроенная ширина плеч минус ширина таза

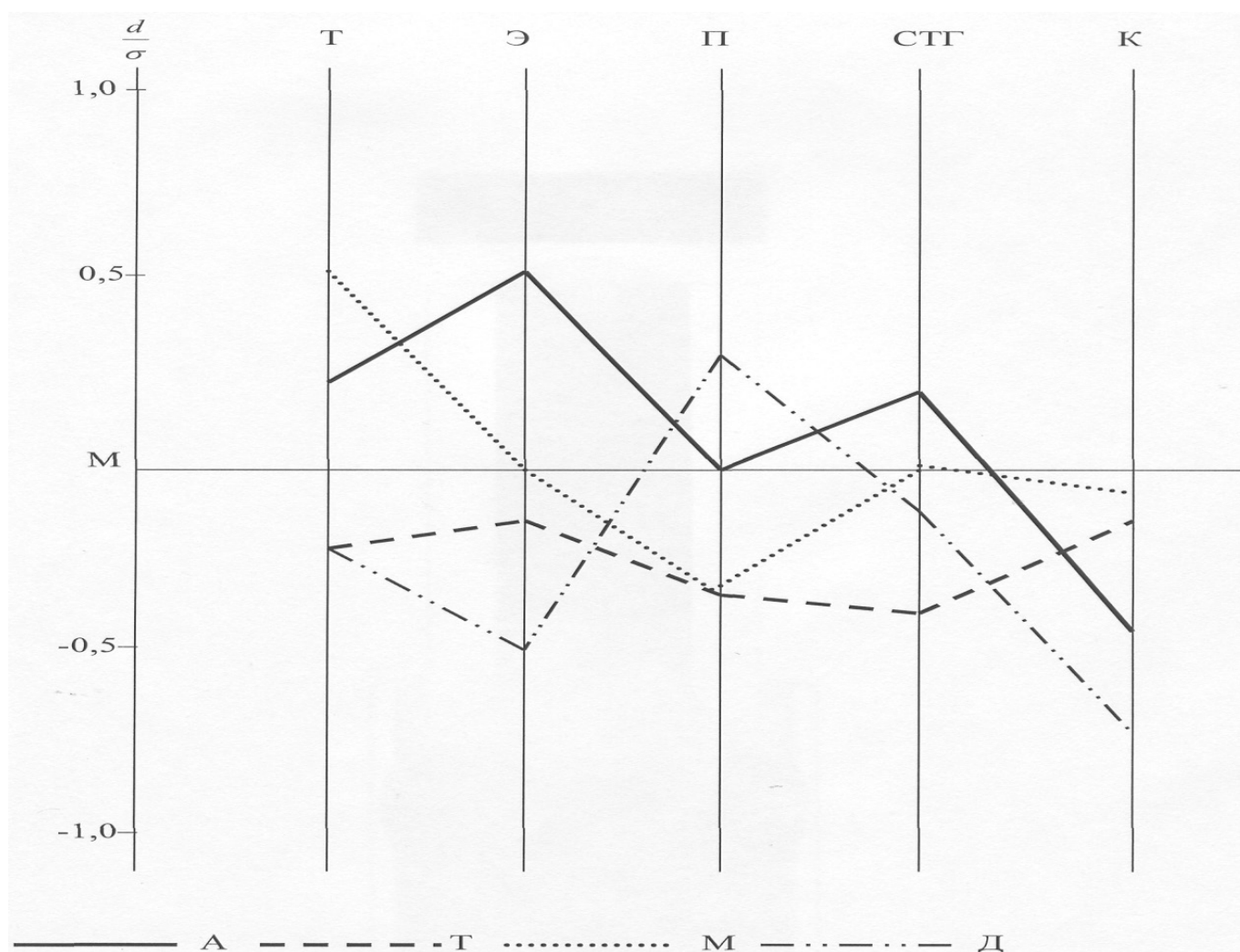


Рисунок 1. Эндокринограмма конституциональных типов при среднем и ускоренном развитии (вариант С+А)

1) выбор периода онтогенеза, характеризующегося достаточно чёткими взаимосвязанными сдвигами в гормональном и соматическом статусе;

2) необходимость максимального сужения хронологического интервала при достаточной численности и этнической однородности обследованного контингента лиц;

3) проведение предварительного анализа дополнительной внутри- и межиндивидуальной изменчивости наиболее изученным гормональным показателям;

4) Выбран ряд гормонов — наиболее информативных для этого возраста: половые гормоны и СТГ — ведущие анаболические факторы роста и развития в пубертатном периоде, кортизол — их антагонист.

Обследована группа из 100 здоровых юношей в возрастном интервале 14 лет 9 месяцев — 15 лет 6 месяцев (т.е. в интервале меньше годового, обычно принятого в антропологических работах для этого периода онтогенеза).

Применялись разные методы конституциональной диагностики (соматометрическая, соматоскопические).

Оценка содержания гормонов в плазме и (тестостерон, эстрадиол, прогестерон, СТГ, кортизол) осуществлялась радииммунологическим методом. Репрезентативность однократного определения гормонов подтверждена данными продольного месячного наблюдения индивидуального гормонального профиля в группе из 10 юношей: коэффициенты корреляции однократного и ежедневного (по результатам пяти определений) гормональных показателей достоверны во всех случаях [1].

Учитывались: социальная однородность группы, сезонность, режим дня, питания, степень физической нагрузки. Применялись различные методы конституциональной диагностики (соматометрические и соматоскопические).

В качестве наиболее информативного критерия биологического возраста нами использована формула полового развития. Хорошо известно, что и основная формула и, прежде всего, показатель Р (пубальное оволосение) реально и тесно коррелируют со стадиями полового созревания, а также со скелетным возрастом (коэффициент корреляции порядка +0,6–+0,7 в указанном возрастном интервале).

При выделении соматотипов использовалась соматометрическая программа из 30 признаков, характеризую-

щих соотношения компонентов сомы, пропорции тела, физическое развитие (длина и вес тела, обхват грудной клетки, её сагиттальный и поперечный диаметры, ширина плеч и таза, длина руки, ноги и туловища, 4 эпифизарных диаметра, 4 обхватных размера конечностей и 12 кожно-жировых складок на туловище, конечностях и животе). Проведено ранжирование каждого из этих показателей на основе величины среднего квадратического отклонения по 3-бальной шкале с выделением вариантов: среднего (балл 2), в пределах  $M \pm 0,67\sigma$ ; высокого (балл 3), больше  $M + 0,67\sigma$  и низкого (балл 1), менее  $M - 0,67\sigma$ .

Полученные данные подвергались стандартной статистической обработке. Вычислялись для морфологических и гормональных признаков общепринятые статистические параметры — средняя, среднее статистическое отклонение, коэффициент вариации и их ошибки, а также коэффициенты асимметрии и эксцесса. В работе применялся аппарат корреляционного и дисперсионного анализа.

#### Результаты исследования и обсуждение

В табл. 1 и на рис. 1 приведены гормональные характеристики основных конституциональных типов.

Сопоставление эндокринограмм рис. 2 позволяет обосновать следующие положения: в пределах каждого соматотипа существует некоторая общая компонента изменчивости, зависящая от степени полового развития. Это, прежде всего, повышение тестостерона и снижение кортизола в соответствии с градиентом биологического возраста. При выделении 3-х вариантов полового развития: ретардированного, среднего и акселерированного различия в крайних типах, то есть акселерированном и ретардированном, по уровню кортизола достоверны во всех случаях ( $P \leq 0,05$ ); по уровню тестостерона достоверны везде, кроме торакального типа ( $P \leq 0,05$ ); особенно велики они у юношей ретардированного ( $M_1$ ) и акселерированного ( $M_3$ ) мускульного типа ( $P \leq 0,001$ ). Во всех сопоставлениях четко выявляется антагонизм тестостерона и кортизола.

При сравнении эндокринограмм разных соматотипов при одном и том же биологическом возрасте можно предположительно выделять и те их особенности, которые отражают специфические конституциональные различия в гормональном статусе.

Все различия с другими соматотипами по этому показателю достоверны не только по общим средним значениям ( $P \leq 0,005-0,001$ ), но и в большей части сопоставлений в пределах одного и того же биологиче-

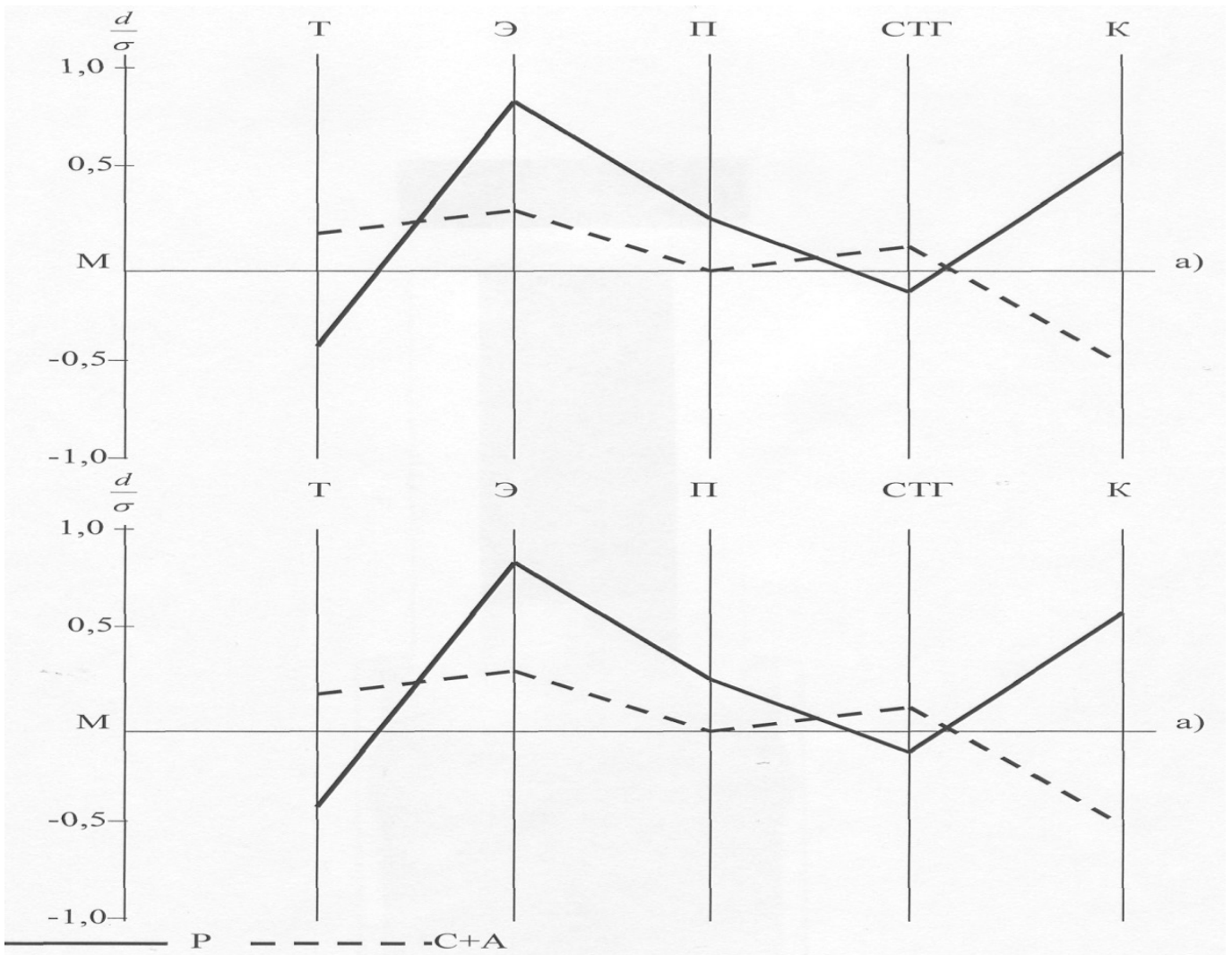


Рисунок 2. Эндокринограммы Р и С+А вариантов биологического возраста при одном и том же соматотипе: а) астеноидный тип конституции; б) торакальный тип конституции; Р — ретардированный вариант полового развития; С+А — среднее и акселерированное развитие.

ского возраста. Так, например, при формуле  $P_3Ax_3$   $P \leq 0,05-0,001$  во всех случаях. Типичность астеноидного типа выявляется и по индексу эстрадиол-тестостерон — наибольшему изо всех при среднем половом развитии. Возможно, что «слабость» телосложения астеноидного типа в известной степени объясняется воздействием эстрадиола, повышенная секреция которого тормозит анаболическое влияние андрогенов. Такое ингибирующее воздействие эстрогенов показано и в эксперименте [4], для перипубертатных мальчиков, высказывается предположение, что связь весо-ростового индекса с эстрогенами здесь (в отличие от женских групп), скорее, обратная. С этой же точки зрения можно, вероятно, объяснить и общее снижение полового развития и минимальное значение показателя андроморфии у подростков астеноидного типа. Специфика торакального типа состоит в его наибольшей близости к «среднему»

уровню по преобладающей части гормональных показателей, как и по показателям соматического развития. При «средней» эндокринной формуле (отклонения всех гормонов в пределах  $M \pm \sigma$ ) преобладающим (46%) является торакальный тип; астеноидный и мускульный встречаются вдвое, а дигестивный и неопределенный — в четыре раза реже. В этом случае основная конституциональная и половая формула тоже «средние» ( $M_2E_2$  и  $P_3Ax_{2,5}$ ). Можно полагать, что и при сходном биологическом возрасте сохраняются эти тенденции наибольшего приближения к «среднему» уровню эндокринных показателей у подростков торакального типа, особенно, в его ретардированном варианте.

Очень велик масштаб различий эндокринной формулы у ретардированного и акселерированного вариантов мускульного типа; именно здесь максимальный

Таблица 2. Параллелизм анаболических тенденций «эндокринной формулы» в соматическом развитии у юношей с разными вариантами биологического возраста

Признак	Вариант		
	P <sub>2</sub> , n = 7	P <sub>3</sub> , n = 63	P <sub>4</sub> , n = 28
Длина тела, см	160,9	170,5	170,2
Масса тела, кг	50,2	59,5	66,2
Весоростовой индекс	1,94	2,05	2,28
Обхват грудной клетки, см	77,6	79,9	82,2
Соматическая формула телосложения	M <sub>1,5</sub> E <sub>1,8</sub>	M <sub>1,9</sub> E <sub>2,0</sub>	M <sub>2,2</sub> E <sub>2,2</sub>
Тестостерон: кортизол,‰	4,1	8,6	9,8

размах в уровне тестостерона (1,3σ), СТГ (1,1σ) и кортизола (1,3σ). Поэтому варианты биологического возраста этого соматотипа проявляют наибольшие различия и по соотношению тестостерон: СТГ. Так, у ретардированных юношей этот индекс примерно втрое ниже общегрупповой средней (соответственно, 24,4% и 77,2%), тогда как у объединенного среднего и акселерированного вариантов полового развития он уже значительно превышает среднюю арифметическую (92,23%). Именно у 15-летних мальчиков мускульного типа, в первую очередь, и проявляется перестройка механизмов регуляции ростовых процессов. Особенно контрастны крайние варианты — ретардированный с максимальным уровнем СТГ и акселерированный с повышенным тестостероном (различия по обоим гормонам достоверны, P ≤ 0,05–0,001). Отсюда следует и достоверная отрицательная связь СТГ и тестостерона у подростков мускульного типа (коэффициент корреляции — 0,22) при наличии лишь тенденции к такой зависимости в среднем по группе. Примечательно, что длина тела у относительно ретардированных мускульных мальчиков с максимальным уровнем СТГ (2,66 нг/мл против 1,42 нг/мл, т.е. близкой к средней, в варианте С.+А.) тоже наибольшая (177,8 см), тогда как при акселерации полового развития юноши того типа имеют наименьшую из всех длину тела (171,8 см), но максимальный уровень тестостерона (1,54 нг/мл).

Общепризнанное значение СТГ как важнейшего ростового фактора первой половины пубертатного периода, играющего, наряду с тестостероном, важнейшую роль в осуществлении ростового спурта у мужчин, далеко не во всех наблюдениях в пределах нормальных популяций подтверждается выявлением статистических зависимостей. Так, по данным литературы [2,3] примерно у 1/2–1/3 всех детей с отставанием в росте имеется дефицит СТГ; однако, при исследовании 10 высокорослых детей и подростков без патологии не было найдено достоверных различий среднего базального СТГ с контролем (нормой), но у всех обследованных была повы-

шена активность соматомединов плазмы. У мальчиков 10–15 лет с прибавкой роста выше и ниже средней СТГ явно (хотя статистически и недостоверно) был выше в 1-м случае. Поэтому наряду с признанием той или иной степени скоррелированности абсолютных и относительных приростов линейных размеров тела с уровнем СТГ-секреции.

У мужчин увеличение СТГ, как известно возможно уже после 15 лет, причём установлена обратная связь его активности с хронологическим и биологическим возрастом [5,6]. Анаболические тенденции, проявляющиеся в эндокринной формуле в связи с биологическим возрастом (абсолютное и относительное увеличение секреции тестостерона по отношению к кортизолу и эстрадиолу), сопровождаются соответствующими сдвигами в телосложении — усилением компонентов мезо- и эндоморфии, в этом можно видеть параллелизм изменений двух систем признаков конституции (табл. 2).

Если теперь вернуться к рассмотрению индивидуальных вариаций эндокринной формулы в пределах основных соматотипов, обнаруживается и их внутренняя неоднородность по критерию биологического возраста, хотя выраженная и в разной степени.

При выделении трёх вариантов полового развития: I (относительно ретардированного) с основной формулой P<sub>1-3</sub>Ax<sub>0-2,5</sub>, II (среднего) с формулой P<sub>3</sub>Ax<sub>3</sub> и III (относительно акселерированного) с формулой P<sub>3-4</sub>Ax<sub>3-3,5</sub> выясняется, что все они представлены в каждом соматотипе, исключая астеноидный, где существуют лишь I и II варианты (A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub>).

Более чем у половины (53,3%) подростков дигестивного типа обнаруживается относительно повышенный уровень прогестерона; снижение СТГ констатировано на индивидуальном уровне в 66,7% (до -1,1 σ от M); тестостерона — в 73,3% (до -1,5 σ от M) и, наконец, также весьма умеренное снижение кортизола (максимально

до  $-1,2 \sigma$  от M) констатировано у преобладающего большинства подростков (86,7%).

По-видимому, несколько меньше соответствие между «средней» эндокринной формулой и индивидуальными наблюдениями у подростков мускульного типа: так, повышение тестостерона отмечено у них всего в 30%, хотя в 1,5 всех случаев его уровень выше среднего на более, чем  $1,5 \sigma$ ; СТГ повышен у юношей мускульного типа только в 43,3%.

Наконец, подростки дигестивного типа, видимо, тоже сохраняют специфику гормонального статуса и при разном биологическом возрасте: это повышение прогестерона на фоне некоторого снижения СТГ, кортизола и тестостерона.

Наибольшие значения индекса тестостерон: кортизол (и СТГ: кортизол) свойственны мускульному типу: для него же характерно и самое низкое соотношение эстрадиол: тестостерон. Такие показатели полностью соответствуют метаболической тенденции в телосложении и максимальному значению критерия андроморфии у подростков этого соматотипа. Напротив, при минимальной андроморфии у астеноидных юношей отмечается самое высокое значение индекса эстрадиол: тестостерон.

У юношей торакального типа все гормональные показатели индивидуально укладываются, как правило, в пределы  $M \pm \sigma$ ; ни в одном случае не было отклонения,

превышающего  $2 \sigma$ , а «выход» за  $1,5 \sigma$  отмечен всего в 15%. Более чем у половины (53,8%) подростков дигестивного типа обнаружен относительно повышенный уровень прогестерона; снижение СТГ констатировано на индивидуальном уровне у 66,7%, тестостерона — у 73,7%, и, наконец, умеренное понижение кортизола констатировано у преобладающего большинства (86,7%) подростков этого типа.

Полученные нами данные о некоторой тенденции к обратной связи эстрадиола крови с биологическим возрастом согласуются с результатами продольного исследования коллективом сотрудников кафедры антропологии МГУ установившим для подростков московской популяции снижение экскреции суммарных эстрогенов мочи примерно на 30% от 13 к 15 годам [1].

### Заключение

В работе показана четкая тенденция к сохранению индивидуального уровня секреции гормонов, т.е. стабильность индивидуально-гормонального профиля (СТГ, эстрадиола и тестостерона).

При выделении трёх вариантов полового развития: I (относительно ретардированного) с основной формулой  $P_{1-3}Ax_{0-2,5}$ , II (среднего) с формулой  $P_3Ax_3$  и III (относительно акселерированного) с формулой  $P_{3-4}Ax_{3-3,5}$  выясняется, что все они представлены в каждом соматотипе, исключая астеноидный, где существуют лишь I и II варианты ( $A_1$  и  $A_2$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бец Л. В. Опыт определения индивидуального гормонального профиля по эстрогенам у мужчин / Л. В. Бец, Д. А. Пикунов // Вопросы антропологии, 1984. — № 74, С. 110–117.
2. Курбанов В. И. и др. Содержание соматотропного гормона и аутоантител к нему в сыворотках крови у детей здоровых и с нарушением роста. // Проблемы эндокринологии, 1974. — № 1, С. 33–36.
3. Титова Е. П., Савостьянова Е. Б., Сарычева Н. Н. Анализ эндокринной формулы в пределах координаты микро-макросомии (фактор величины тела) в связи с биологическим возрастом. РФ, Уфа, Научно-издательский центр «Аэтерна», 2016. — № 2, ч. 5, С. 31–36.
4. Титова Е. П., Савостьянова Е. Б., Савченко Е. Л. Оценка внутрииндивидуальной изменчивости гормональных показателей и ее соотношений с межиндивидуальной вариабельностью — одна из важнейших методических предпосылок морфофункциональных исследований. Украина, Одесса: Южно-украинский национальный педагогический университет, 2013. — С. 376–378.
5. Feldman H. J. Human chorionic gonadotropin and testicular function. // — Clin. Endocrinol Metabol, 1983. — № 4.
6. Rosenfield R. The relationship between plasma testosterone and mean LH levels in men // R. Rosenfield // J. Clin. Endocrinol, 1977. N1. — P. 30.

© Титова Елена Петровна ( elpetat@yandex.ru ), Савостьянова Евгения Борисовна ( elpetat@yandex.ru ), Савченко Елена Леонидовна ( elpetat@yandex.ru ), Сарычева Наталья Николаевна ( sarycheva\_nn@pfur.ru ), Анохина Елена Владимировна ( anokhina\_ev@pfur.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НАШИ АВТОРЫ

## OUR AUTHORS

**Advolotkin D.** — Research and testing center (research directions and prospects of development of special equipment of Railway troops) "3 Central scientific research Institute" of the Ministry of defence of the Russian Federation, Moscow  
advolotkin\_di@list.ru

**Afanasieva N.** — Assistant Professor of nursing, Doctor of the First MGMU them M. Sechenov Russian Ministry Of Health|  
mmanatasha1972@mail.ru

**Akimov D.** — Moscow Technological University  
Press@smartinterface.ru

**Akimov D.** — PhD, MIREA MSTU (Moscow)

**Aliiev R.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Alyaev Yu.** — MD, professor, Corresponding member of the Academy of Medical Sciences, Director of Fronstain Clinic of Urology Sechenov First Moscow state medical university, Deputy director of Science Research Institute of urology and reproductive human health of Sechenov First Moscow state medical university, Head of department of Urology of Sechenov First Moscow state medical university

**Ananyan C.** — Student, South Ural state medical University

**Andrianov A.** — Applicant, Moscow financial-industrial University  
andrianovdance@gmail.com

**Anokhina E.** — Peoples' Friendship University of Russia, Moscow  
anokhina\_ev@pfur.ru

**Ataullakhov R.** — MD, Head of Department of the State Enterprise "Institute of Immunology of the Federal Department of Biomedical and Extreme Problems at the Ministry of Health of Russian Federation", Head of Laboratory of immunity activation of Institute of Immunology

**Aude F.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Axt E.** — Student, South Ural state medical University

**Bezverhij S.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Dmitriev N.** — Ural State University of Railway Transport (Ekaterinburg)  
dmitrievnikita13@gmail.com

**Dolgushina A.** — Doctor of Medical Sciences, Assistant professor, South Ural state medical University Hospital Therapy Department

**Dyatchenkova A.** — Graduate student, MIREA MSTU (Moscow)  
darina.skipskay@gmail.com

**Erofeevskaia L.** — Research associate, Institute of oil and gas problems Siberian branch of the Russian Academy of Sciences  
ipog@ipng.ysn.ru

**Fomin A.** — Military Academy named after Peter the Great  
sad116@mail.ru

**Grigoryan V.** — MD, Professor of the Department of Urology of Sechenov First Moscow state medical university

**Gul C.** — Student, South Ural state medical University

**Ivanov V.** — Candidate of medical sciences, head of urological department, V.V. Angapov Republic Clinical Hospital of First Aid

**Ivashkin A.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Kazunin D.** — Doctor of technical Sciences, associate Professor, chief researcher of the Department of applied Cybernetics, St. Petersburg State University

**Korotneva L.** — Assistant, South Ural state medical University

**Kotelnikov V.** — PhD, MIREA MSTU (Moscow)

**Kuznetsova A.** — Assistant, South Ural state medical University Hospital Therapy Department

**Lyalin D.** — Perm National Research Polytechnic University  
lyalindim@gmail.com

**Malyugin A.** — Competitor, St. Petersburg State University  
malugin\_alex@mail.ru

**Mamyrbayeva M.** — PhD, associate Professor of the West Kazakhstan Marat Ospanov state medical university  
mamyrbayeva\_ma@mail.ru

**Markina A.** — Candidate of Medical Sciences, Assistant professor, South Ural state medical University  
Markina\_alenka@mail.ru

**Murzakaev R.** — Perm national research polytechnic university  
rustmur@gmail.com

**Okuneva D.** — The Bonch-Bruевич Saint - Petersburg State University of Telecommunications  
darina\_okuneva@mail.ru

**Potapov D.** — Moscow Technological University  
potdmiana@mail.ru

**Saganov V.** — Doctor of medical sciences, the Chief of a Surgical Chair Buryat State University, Ulan-Ude  
uromed-lkc@mail.ru

**Samarin I.** — Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after IM Gubkin  
ivs@gubkin.ru

**Sarycheva N.** — Peoples' Friendship University of Russia, Moscow  
sarycheva\_nn@pfur.ru

**Savchenko E.** — Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism  
elpetat@yandex.ru

**Savochkina A.** — Doctor of Medical Sciences, Assistant professor, South Ural state medical University

**Savostyanova E.** — Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism  
elpetat@yandex.ru

**Semenkina M.** — Student at Moscow medical College № 1

**Shpot E.** — Ph.D., Associate Professor of the Department of Urology of Sechenov First Moscow state medical university

**Skoseleva D.** — Graduate student, PhD, MIREA MSTU (Moscow)

**Soblirov T.** — Department of Urology of Sechenov First Moscow state medical university "Institute of Immunology" FMBA Russia  
tb03@bk.ru

**Stepanyan R.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Subbotin A.** — Perm national research polytechnic university  
andrey.05.12.93@mail.ru

**Sumerkina V.** — Senior researcher of the Central Research Laboratory, Candidate of Medical Sciences, South Ural state medical University

**Tarasyan V.** — Ural State University of Railway Transport (Ekaterinburg)  
vtarasyan@gmail.com

**Titova E.** — Peoples' Friendship University of Russia, Moscow  
elpetat@yandex.ru

**Tyulganova V.** — Candidate of Medical Sciences, Chelyabinsk Regional Hospital

**Zagorodniy N.** — Russian University of Peoples' Friendship  
dr.lomjaria@mail.ru

**Zaharyan N.** — Russian University of Peoples' Friendship

**Zatonsky A.** — Perm National Research Polytechnic University  
zxeon@narod.ru

**Zhumagaliyeva G.** — PhD, associate Professor of the West Kazakhstan Marat Ospanov state medical university

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускаются.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные - 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).