

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№4-2 2020 (АПРЕЛЬ)

Учредитель журнала  
Общество с ограниченной ответственностью  
**«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

Главный редактор  
**А.В. Царегородцев**  
Выпускающий редактор  
**Ю.Б. Миндлин**

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016  
В течение года можно произвести подписку  
на журнал непосредственно в редакции.

### Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью  
**«Научные технологии»**

Адрес редакции и издателя:  
109443, Москва, Волгоградский пр-т, 116-1-10  
Тел/факс: 8(495) 142 8681  
E-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)  
<http://www.nauteh-journal.ru>

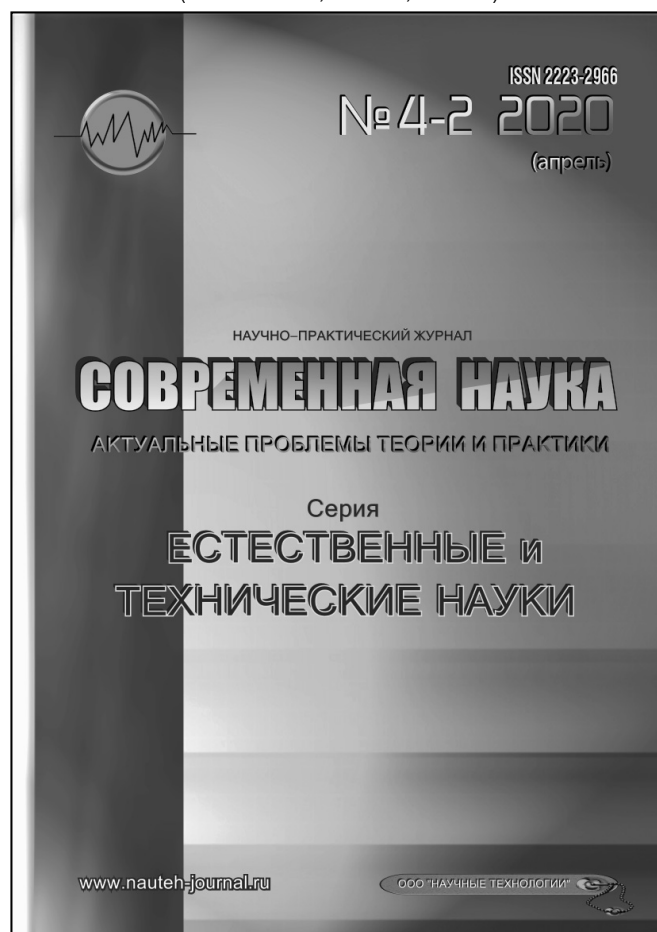
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-44912 от 04.05.2011 г.

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(BAK 05.13.00, 03.02.00, 14.01.00)



### В НОМЕРЕ:

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ, ИНФОРМАТИКА,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И УПРАВЛЕНИЕ,  
КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

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 28.04.2020 г. Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# Редакционный совет

**Атаев Алевдин Рашитханович** — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

**Безруких Марьям Моисеевна** — д.б.н., профессор, Институт возрастной физиологии РАО

**Бекетов Сергей Валериевич** — д.б.н., ФГБНУ НИИ Пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева

**Белых Владимир Иванович** — д.м.н., доцент, Алтайский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Грачев Николай Николаевич** — доктор высшей степени в области технических наук (DoctorHabilitatus), профессор, Московский государственный институт электроники и математики НИУ ВШЭ (технический университет)

**Гусева Анна Ивановна** — д.т.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Зубкова Валентина Михайловна** — д.б.н., профессор, Российский государственный социальный университет

**Каллаев Нажмудин Омаркадиевич** — д.м.н., профессор, Дагестанский государственный медицинский университет

**Квасов Андрей Иванович** — д.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

**Корнеев Андрей Матиславович** — д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет

**Корягина Наталья Александровна** — д.м.н., доцент, Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е. А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Кравец Бронислава Борисовна** — д.м.н., профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Кулик Сергей Дмитриевич** — д.т.н., с.н.с., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Матвеев Всеволод Борисович** — д.м.н., профессор, ФГБУ РОНЦ им. Н. Н. Блохина, член-корреспондент РАН

**Надежкин Сергей Михайлович** — д.б.н., профессор, Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур Россельхозакадемии

**Овезов Алексей Мурадович** — д.м.н., доцент, ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского

**Олейникова Светлана Александровна** — д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет

**Рахимов Ильгизар Ильясович** — д.б.н., профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет

**Ромашкова Оксана Николаевна** — д.т.н., профессор, Московский городской педагогический университет

**Симаков Юрий Георгиевич** — д.б.н., профессор, Московский государственный университет им. К. Г. Разумовского (ПКУ)

**Симоненков Алексей Павлович** — д.м.н., профессор, независимый эксперт

**Трапезов Олег Васильевич** — д.б.н., в.н.с., ФИЦ «Институт цитологии и генетики СО РАН»

**Федорова Оксана Ивановна** — д.б.н., доцент, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина

**Харитонов Михаил Анатольевич** — д.м.н., профессор, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

- Корляков К. А.** — Особенности развития моно- и поликультур бактерий на стекле с различным рельефом  
*Korlyakov K.* — Features of development of mono- and polycultures of bacteria on glass with different relief . . . . . 5

## Информатика, вычислительная техника и управление

- Андрюхин А. Г., Грачев Н. Н., Бойко Д. В.** — Моделирование механических процессов в плоскостных моделях конструкций РЭС  
*Andryukhin A., Grachev N., Boyko D.* — Modeling of mechanical processes in plane models of des structures . . . . . 11

- Антоников А. А., Нестеров А. В., Ермакова Т. Н.** — Применение теории устойчивых паросочетаний для автоматизации выбора образовательной траектории в электронном обучении  
*Antonikov A., Nesterov A., Ermakova T.* — The use of the theory of stable matching to automate the choice of educational path in e-learning . . . . . 18

- Антоников А. А., Нестеров А. В., Ермакова Т. Н.** — Использование корпоративных практик разработки программного обеспечения при подготовке специалистов в области информационных технологий  
*Antonikov A., Nesterov A., Ermakova T.* — The use of corporate practices in software development in educational process of computer science students. . . . . 23

- Зубков Е. В., Богомолов К. Ю., Дедков Ю. В., Шилова С. О.** — Численное моделирование динамики ионосферных процессов в естественных условиях и условиях техногенного воздействия  
*Zubkov E., Bogomolov K., Dedkov Yu., Shilova S.* — Numerical modeling of the dynamics of ionospheric processes in natural and man-made conditions . . . . . 27

- Иванов С. Е., Зудилова Т. В., Осетрова И. С., Войтюк Т. Е.** — Компьютерное моделирование динамики многозвенных манипуляторов с управлением  
*Ivanov S., Zudilova T., Osetrova I., Voytyuk T.* — Computer simulation of the dynamics of multi- link manipulators with control . . . . . 35

- Игнатов Н. А., Сечкина Н. С.** — Автоматизация конфигурирования программного обеспечения наземных станций системы спутниковой связи  
*Ignatov N., Sechkina N.* — Automated configuration of the satellite communication system ground stations software . . . . . 38

- Лазарева А. Б., Рябов А. В., Шаматов М. В.** — Анализ процессов подготовки производства мелкосерийных производственных предприятий  
*Lazareva A., Ryabov A., Shamatov M.* — Analysis of the processes for preparing the production of small production enterprises. . . . . 45

- Пылинский М. В., Латушко М. М., Терешкин Н. М., Самохин Е. С., Кривцов С. П.** — Модель прогнозирования состояний элементов сети связи специального назначения с применением логико-вероятностного метода, учитывающая комплексный характер деструктивного воздействия  
*Pylinisky M., Latushko M., Tereshkin N., Samokhin E., Krivtsov S.* — A model for predicting the state of elements of a special-purpose communication network using the logical-probabilistic method, taking into account the complex nature of the destructive impact. . . . . 49

- Рубцов Д. В.** — Методы защиты от перегрузок в распределенных системах обработки информации  
*Rubtsov D.* — Handling overloads in distributed systems. . . . . 53

<b>Клиническая медицина</b>	
<b>Ахмедханов С. Ш., Абдуллаева Б. С., Саидова З. М., Агмадова З. М., Эзиляева М. Р.</b> — Диагональная складка мочки уха – предиктор инфаркта миокарда у пациентов гипертонической болезнью? <i>Akhmedkhanov S., Abdullaeva B., Saidova Z., Agmadova Z., Ezilyaeva M.</i> — Crease earlobe a predictor of myocardial infarction in patients with essential hypertension ..... 61	<b>Корчагина К. С., Гамаюнов С. В., Иванов С. А.</b> — Флуоресцентная диагностика в клинической практике <i>Korchagina K., Gamayunov S., Ivanov S.</i> — Fluorescent diagnostics in clinical practice ..... 75
<b>Бейбалаева А. М., Кудяев М. Т., Гаджиева Т. А.</b> — Оценка роли половых гормонов в развитии инфаркта миокарда у женщин в постменопаузе <i>Beibalaeva A., Kudaev M., Gadjeva T.</i> — Evaluation of the role of sex hormones in the development of myocardial infarction in postmenopausal women ..... 68	<b>Сметанкина А. В.</b> — Использование систем с искусственным интеллектом в диагностике инфекций, передающихся половым путем <i>Smetankina A.</i> — The use of artificial intelligence systems in the diagnosis of sexually transmitted infections ..... 81
<b>Журбенко В. А., Карлаш А. Е., Саакян Э. С.</b> — Изучение качества индивидуальной гигиены полости рта у беременных женщин <i>Zhurbenko V., Karlash A., Saakyan E.</i> — Study of the quality of individual oral hygiene in pregnant women ..... 72	<b>Информация</b>
	Наши авторы. Our Authors ..... 86
	Требования к оформлению рукописей и статей для публикации в журнале ..... 88

# ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МОНО- И ПОЛИКУЛЬТУР БАКТЕРИЙ НА СТЕКЛЕ С РАЗЛИЧНЫМ РЕЛЬЕФОМ

**Корляков Константин Александрович**

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Челябинский

Государственный университет»

korfish@mail.ru

## FEATURES OF DEVELOPMENT OF MONO-AND POLY CULTURES OF BACTERIA ON GLASS WITH DIFFERENT RELIEF

**K. Korlyakov**

*Summary.* We studied the population of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* cultures and their joint polyculture of glasses with different recess diameters: 7.8 microns, 23.4 microns, 78 microns, and 235 microns. It was found that the larger the diameter of the furrows, the faster they form a monolayer of bacteria, as the previous stage of biofilm development. Individual preferences of crops for settlement of certain size depressions of sectors are revealed. The number of bacterial cells in the recesses is always higher than between the recesses, which may indicate a more intensive accumulation of nutrient medium inside the recesses. At the same time, the number of cells in the recesses at the first hours of exposure (5–7 hours) is higher than in the control, and in the following hours, the number in the control on the contrary begins to prevail over the other sectors. This can be explained by the fact that uneven depressions on the glass are a catalyst for the development of bacteria due to the accumulation of nutrients there and a place convenient for attaching cells. In the future, when forming a biofilm, the surface relief no longer plays a role in the development of culture. In relation to polyculture, similar trends were revealed when the *Pseudomonas aeruginosa* culture replaced the *Staphylococcus aureus* culture.

*Keywords:* “scratched” glass, monolayer, cell count, sector, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*.

*Аннотация.* Изучено заселение культурами *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* и их совместной поликультурой стеклов с различным диаметром углублений: 7.8 мкм, 23.4 мкм, 78 мкм и 235 мкм. Установлено, что чем больше диаметр борозд, тем быстрее в них формируется монослой бактерий, как предшествующая стадия развития биопленки. Выявлены индивидуальные предпочтения культур к заселению определенных по размеру углублений секторов. Численность клеток бактерий в углублениях всегда выше, чем между углублений, что может свидетельствовать о более интенсивном накоплении внутри углублений питательной среды. При этом численность клеток в углублениях на первых часах экспозиции (5–7 часов) выше, чем в контроле, а в последующие часы численность в контроле наоборот начинает превалировать над остальными секторами. Это может объясняться тем, что неровные углубления на стекле являются катализатором развития бактерий ввиду накопления там питательных веществ и местом удобным для прикрепления клеток. В дальнейшем, при формировании биопленки рельеф поверхности уже не играет значения в развитии культуры. В отношении поликультуры выявлены схожие тенденции при вытеснении культурой *Pseudomonas aeruginosa* культуры *Staphylococcus aureus*.

*Ключевые слова:* «царапанные» стекла, монослой, численность клеток, сектор, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*.

## Введение

**В**опрос о матрицах и твердых ячейках для фиксации и культивирования бактерий, как и для эукариотических клеточных культур становится все более актуальным. В то же время структурные особенности твердого субстрата в виде стекла служащего основой для культивирования микроорганизмов до сих пор остаются мало изученными. Ранее нами были исследованы особенности адсорбции и развития микроорганизмов и гидробионтов на стекле с различными по размеру углублениями [1, 2]. Однако, первичное накопление ор-

ганического вещества на неровной поверхности стекла, как правило обусловлено развитием бактериальных биопленок. Для чего необходимо изучение динамики развития клеток в различных углублениях — ячейках. И определение того, как те или иные изменения рельефа поверхности стекла блокируют или способствуют формированию колоний и биопленок, то есть влияют на все стадии развития бактериальных культур. Цель настоящей работы состояла в изучении особенностей роста бактериальных культур до формирования монослоя на секторах стекла с различными по размеру углублениями.

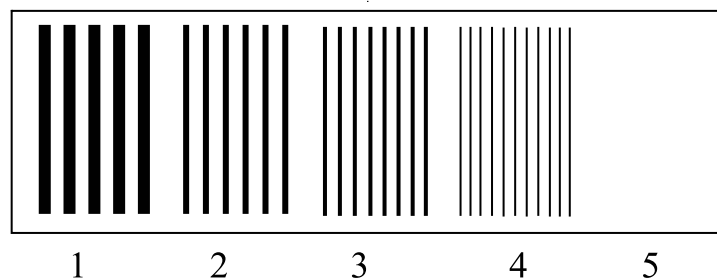


Рис. 1. Схема стекла с секторами: 1 сектор — ширина углублений 235 мкм, 2 сектор — ширина углублений 78 мкм, 3 сектор — ширина углублений 23.4 мкм, 4 сектор — ширина углублений 7.8 мкм, 5 сектор — контроль.

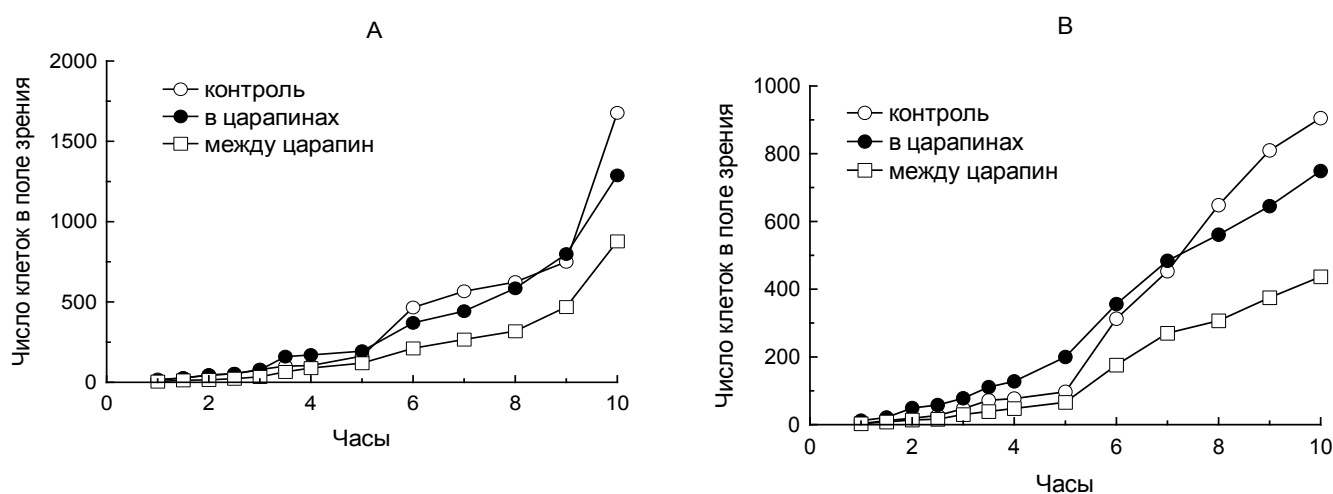


Рис. 2. Динамика роста среднего числа клеток монокультур по различным секторам в царапинах, между царапин и в контроле. А — *Pseudomonas aeruginosa* В — *Staphylococcus aureus*.

### Материал и методика

Для исследований были использованы две культуры бактерий: *Staphylococcus aureus* штамм 25923 и *Pseudomonas aeruginosa* штамм 259212. Культуры выращивались по отдельности в виде монокультур и совместно в виде поликультуры. В качестве жидкой фазы для выращивания микроорганизмов использовали мясопептонный бульон. Культивирование осуществляли при температуре 37<sup>о</sup>С в одноразовых чашках Петри, содержащих по 20 мл питательной среды. Первые результаты в трехкратной повторности снимали через 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 24 часа. Предметные стекла были разделены на 5 секторов, на которых абразивной шкуркой были нанесены углубления различной толщины: 7.8 мкм, 23.4 мкм, 78 мкм и 235 мкм. Расстояния между углублениями составили соответственно: 78 мкм, 195 мкм, 312 мкм и 585 мкм. Сектора были расположены в порядке возрастания толщины углублений и увеличения удельных поверхностей (рис. 1).

Пятый сектор оставался необработанным (ровным) и использовался в качестве контроля. Стекла перед применением проходили дезинфекционную обработку (выдерживание в 96% спирте) и стерилизацию (фломбирование).

Во всех случаях эффекты и различия считали статистически значимыми при  $P \leq 0.05$ , незначимыми — при  $P > 0.10$ , промежуточные значения ( $0.05 \leq P \leq 0.10$ ) обсуждали в качестве тенденций. Расчёты и графические построения выполнены в пакете KyPlot [3].

### Результаты исследования

Средняя плотность клеток двух монокультур внутри углублений стекла была значительно выше, чем между углублениями (рис. 2).

В первые 5 часов у синегнойной палочки и 7 часов у золотистого стафиллакока численность клеток в углу-

Таблица 1. Численность клеток *Pseudomonas aeruginosa* на различных секторах стекла: числитель — внутри царапин, знаменатель — между царапинами.

Часы	Контроль	Количество клеток на неровной поверхности				Достоверность зависимости числа клеток от размера углублений $P \leq 0.05$
		1 сектор	2 сектор	3 сектор	4 сектор	
1	18	9/4	11/4	16/7	18/7	0,0415
1.5	26	27/14	32/11	27/12	23/14	0,2785
2	45	38/12	41/13	46/16	54/21	0,0415
2.5	53	52/23	49/22	54/22	57/26	0,1742
3	80	86/30	85/33	41/36	96/37	1
3.5	101	147/48	154/54	187/86	155/72	0,1742
4	104	178/87	156/91	188/89	160/90	1
5	163	193/116	193/131	222/120	171/109	0,7179
6	466	370/219	392/219	414/209	306/204	0,7290
7	566	429/269	457/255	512/330	376/214	0,7290
8	624	578/288	575/316	615/352	572/316	0,4969
9	750	814/483	791/477	877/508	711/408	0,4969
10	1677	1351/955	1652/936	1267/880	885/742	0,1742
24	МОНОСЛОЙ					-

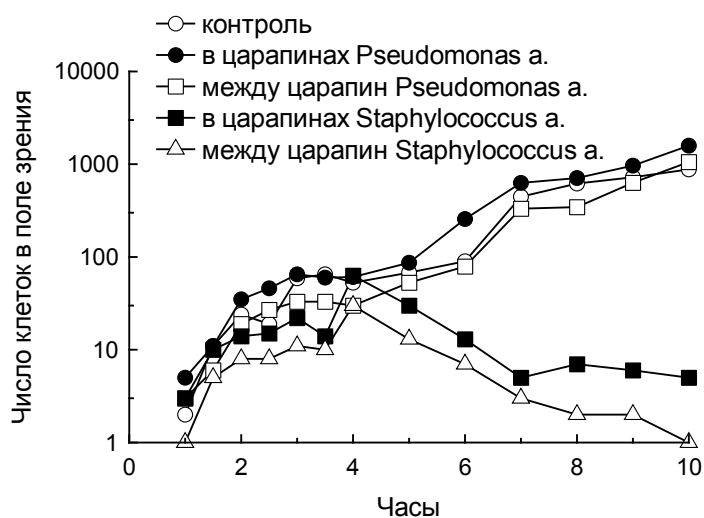


Рис. 3. Динамика роста среднего числа клеток поликультуры (*Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*) по четырем секторам в царапинах, между царапин и в контроле.

блениях была выше, чем в контроле. На последних часах численность клеток в контроле наоборот становилась выше, чем в углублениях. В поликультуре начиная с 5 часа культура *Pseudomonas aeruginosa* доминировала по численности подавляя *Staphylococcus aureus* (рис. 3).

При этом у обеих культур плотность клеток в углублениях также была выше, чем между углублениями. На 24

часу роста культуры *Pseudomonas aeruginosa* наблюдался монослой — сплошной одинарный по высоте слой клеток, охватывающий все поле зрения (табл. 1).

Однако, развитие монослоя клеток шло неравномерно на различных секторах. В культуре *Pseudomonas aeruginosa* на 10 часу наблюдался монослой в 5 полях зрения второго и первого секторов. Рост культуры *Staphylococcus aureus* был замедлен по сравнению

Таблица 2. Численность клеток *Staphylococcus aureus* на различных секторах стекла: числитель — внутри царапин, знаменатель — между царапинами.

Часы	Контроль	Количество клеток на неровной поверхности				Достоверность зависимости числа клеток от размера углублений $P \leq 0.05$
		1 сектор	2 сектор	3 сектор	4 сектор	
1	3	8/2	15/4	16/4	11/2	0,4969
1.5	12	22/9	23/9	19/7	20/8	0,4969
2	19	39/16	72/20	46/12	41/10	1
2.5	27	51/17	77/17	47/15	57/14	1
3	47	69/26	85/33	81/25	76/37	1
3.5	72	118/38	107/48	103/43	117/28	0,4969
4	77	138/50	123/51	125/49	126/42	1
5	97	202/65	215/70	212/61	173/67	0,4969
6	313	375/189	445/180	364/196	240/141	0,1742
7	453	552/301	601/301	447/264	338/211	0,1742
8	648	656/352	713/338	507/299	369/239	0,1742
9	810	707/386	786/448	611/353	479/314	0,1742
10	905	829/454	841/521	711/409	615/365	0,1742
24	1768	1487/885	1696/798	1316/612	1269/790	0,1742

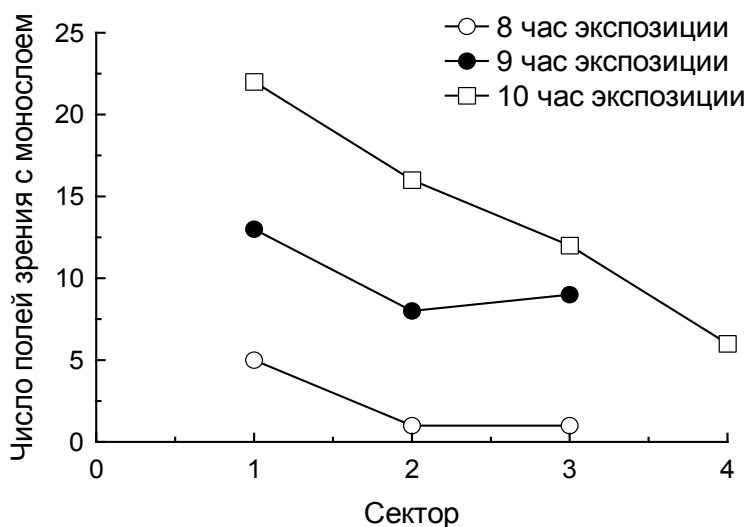


Рис. 4. Формирование бактериального монослоя (поликультуры *Pseudomonas aeruginosa* + *Staphylococcus aureus*) в полях зрения по часам на различных секторах.

с *Pseudomonas aeruginosa* и формирование монослоя не фиксировалось до последних стадий экспозиции — 24 часа (табл. 2).

При смешении двух культур монослой также наблюдался у культуры *Pseudomonas aeruginosa*, но гораздо раньше — начиная с 8 часа экспозиции (рис. 4). На 8 часу

монослой наблюдался на 7 полях зрения, на 9 часу — на 30 полях зрения и на 10 часу — на 56 полях зрения (рис. 4).

При этом монослой клеток чаще наблюдался на секторах с наибольшим размерам углублений. Так на 1 секторе с углублениями диаметром 235 мкм число полей



Таблица 3. Численность клеток *Pseudomonas aeruginosa* + *Staphylococcus aureus* на различных секторах стекла: числитель — внутри царапин, знаменатель — между царапинами.

Часы	Контроль	Количество клеток на неровной поверхности				Достоверность зависимости числа клеток от размера углублений $P \leq 0.05$ для <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
		1 сектор	2 сектор	3 сектор	4 сектор	
1	п2 с2	п6/2 с3/1	п6/3 с4/1	п6/3 с3/1	п4/2 с3/1	0,1797
1.5	п11 с6	п10/5 с9/4	п10/5 с9/3	п12/7 с9/5	п13/6 с12/7	0,0709
2	п24 с9	п51/23 с16/9	п36/14 с13/8	п28/16 с13/7	п26/24 с15/10	0,04154
2.5	п19 с9	п50/32 с9/2	п51/27 с15/7	п43/25 с25/15	п39/25 с13/9	0,1742
3	п59 с23	п73/33 с18/10	п67/40 с28/11	п54/28 с20/12	п66/30 с22/11	0,1742
3.5	п65 с31	п65/32 с14/8	п70/35 с12/9	п40/30 с10/11	п65/36 с19/11	0,7179
4	п53 с40	п58/26 с60/28	п67/34 с70/36	п66/34 с67/36	п54/28 с55/21	0,4969
5	п68 с11	п117/75 с29/19	п85/63 с40/12	п74/40 с29/11	п71/36 с24/12	0,0415
6	п90 с23	п322/80 с10/7	п390/95 с12/8	п208/68 с10/8	п109/74 с20/7	0,1742
7	п446 с8	п819/428 с2/1	п883/498 с7/3	п485/272 с8/8	п335/133 с4/1	0,1742
8	п619 с8	п1030/588 с8/2	п938/357 с7/1	п452/238 с7/2	п426/203 с6/1	0,0415
9	п724 с9	п1324/889 с7/4	п1474/1002 с7/2	п530/291 с4/1	п536/343 с7/1	0,4969
10	п882 с7	п2105/1555 с5/1	п1983/1390 с5/1	п1220/724 с5/1	п1045/567 с7/1	0,0415
24	монослой					

Примечание: п — *Pseudomonas aeruginosa*, с — *Staphylococcus aureus*.

зрения с монослоем всегда преваляло по сравнению со 2 и 3 секторами с диаметрами борозд 78 и 23 мкм соответственно. А монослой на 4 секторе с углублениями диаметром 7.8 мкм образовывался только на 10 часу экспозиции (рис. 4) Следует отметить, что на контрольном секторе монослой не наблюдался до последних часов экспозиции — 24 часа, тогда как на секторах с неровным рельефом монослой начинал развиваться уже на 8–10 часах (смешанная культура). На последнем часе экспозиции монослой наблюдался на всех секторах, также, как в монокультуре *Pseudomonas aeruginosa* (табл. 3). Таким образом, можно констатировать опережающее развитие роста клеток в виде формирования монослоя, как первой стадии развития биопленки преимущественно на 1 и 2 секторах, отличающихся наибольшими размерами борозд (78–235 мкм). При этом на 10 часу экспозиции выявлена статистически значимая положительная корреляция между увеличением размера борозд и количеством полей зрения с монослоем в этих бороздах ( $p=0.04$ ). Тогда как на 8 ( $p=0.22$ ) и 9 ( $p=0.6$ ) часах статистически достоверной связи выявлено не было. То есть, чем шире были углубления на стекле, тем быстрее там образовывался монослой формирующей в дальнейшем биопленку. Однако, в динамике роста клеток *Pseudomonas aeruginosa* в моно- и поликультуре наблюдались прямо противоположные тенденции освоения секторов. Так в монокультуре *Pseudomonas aeruginosa* в первые часы развития численность клеток достоверно ( $p=0,04$ ) увеличивалась

с уменьшением размера углублений (табл. 1). В поликультуре плотность клеток *Pseudomonas aeruginosa* наоборот статистически значимо увеличивалась на 2, 5, 10 часах с увеличением размера углублений (табл. 3).

## Заключение

Таким образом, степень изменения рельефа поверхности стекла влияет на развитие моно- и поликультур микроорганизмов. Чем больше диаметр борозд, тем быстрее в них формируется монослой бактерий, как предшествующая стадия развития биопленки. Численность клеток бактерий в бороздах всегда выше, чем между борозд, что может свидетельствовать о более интенсивном накоплении там питательной среды. При этом численность клеток в углублениях на первых часах экспозиции (5–7 часов) выше, чем в контроле, а в последующие часы численность в контроле наоборот начинает превалять над остальными секторами. Это может объясняться тем, что неровные углубления на стекле являются катализатором развития бактерий ввиду накопления там питательных веществ и местом удобным для прикрепления клеток. То есть являются энергетическим стимулятором развития для последующего развития колоний. В поликультуре микроорганизмов наблюдалась аналогичная картина при подавлении на 4–5 часах культурой синегнойной палочкой золотистого стафилококка. Также выявлены индивидуальные предпочтения различных культур к различным секторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корляков К.А., Арсентьева Н. Ю., Нохрин Д. Ю. Влияние сложности рельефа стекол на формирование монокультур микроорганизмов // Вестник уральской медицинской академической науки. 2011. № 4/1 (38). С. 35.
2. Корляков К.А., Нохрин Д. Ю., Арсентьева Н. Ю. Влияние неровностей рельефа стекол на формирование сообществ и монокультур обрастаний // Биология внутренних вод, 2015. № 1. С. 96–104.
3. Yoshioka K. KyPlot — a user-oriented tool for statistical data analysis and visualization // Computational Statistics. 2002. V. 17, № 3. P. 425–437.

---

© Корляков Константин Александрович ( korfish@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЛОСКОСТНЫХ МОДЕЛЯХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

### MODELING OF MECHANICAL PROCESSES IN PLANE MODELS OF DES STRUCTURES

**A. Andryukhin  
N. Grachev  
D. Boyko**

*Summary.* The reliability of the operation of the equipment is one of the main tasks that the designer must constantly keep in mind throughout all stages of its design. He must create the most favorable conditions for the operation of parts, components and components of the equipment, as well as develop ways to protect them from environmental influences. This article discusses the design of a topological model of printing units, taking into account the impact of mechanical factors.

*Keywords:* modeling, design, vibration resistance, design.

**Андрюхин Александр Гаврилович**

К.т.н., доцент, МИРЭА — Российский  
технологический университет (г. Москва)  
pr1110@list.ru

**Грачев Николай Николаевич**

К.т.н., профессор, МИРЭА — Российский  
технологический университет (г. Москва)  
nnggrachev@mail.ru

**Бойко Денис Владимирович**

МИРЭА — Российский технологический университет,  
г. Москва  
den87–2004@mail.ru

*Аннотация.* Безотказность функционирования аппаратуры является одной из основных задач, которую постоянно должен иметь в виду конструктор на протяжении всех этапов её проектирования. Он должен создать наиболее благоприятные условия для работы деталей, элементов и узлов аппаратуры, а также разработать способы их защиты от воздействия окружающей среды. В данной статье рассматривается проектирование топологических модели печатных узлов с учетом воздействия механических факторов.

*Ключевые слова:* моделирование, проектирование, вибропрочность, конструкция.

**В**ибрационные воздействия, действующие на аппаратуру, охватывают широкий интервал частот от 5 до 5000 Гц. Ударные и вибрационные нагрузки ухудшают надёжность РЭС, поэтому предпринимаются попытки тем или иным способом учесть влияние механических воздействий на надёжность. Около 50% отказов радиоэлектронных средств возникает из-за недопустимо больших деформаций монтажных плат, разгерметизации соединений корпусных элементов, нарушений в электромонтаже, разрушение паянных и сварных соединений при механических и термических воздействиях. В связи с этим конструкторам и технологам РЭС и её элементарной базы приходится решать сложные задачи обеспечения прочности различных по структуре и свойствам узлов.

Исходным аналитическим выражением, описывающим механические колебания плоской конструкции (печатного узла), в рамках технической теории тонких пластин является бигармоническое уравнение [1]:

$$\begin{aligned} \overline{D}_1 = & \left( \frac{\partial^4 W}{\partial X^4} \right) + 2\overline{D}_3 \left( \frac{\partial^4 W_1}{\partial x^2 \partial y^2} \right) + \overline{D}_2 \left( \frac{\partial^4 W_1}{\partial y^4} \right) + \\ & + m_1 \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial t^2} \right) = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Где  $w_l$  — прогиб печатной платы в точке с координатами  $x, y$  в момент времени  $t$ ;

$m_1$  — масса печатного узла, приходящаяся на единицу площади в точке 1;

$$\overline{D}_1 = \frac{\overline{E}_1 S^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$$

цилиндрическая жесткость печатной платы по оси  $x$ ;

$$\overline{D}_2 = \frac{\overline{E}_1 S^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$$

цилиндрическая жесткость печатной платы по оси  $y$ .

$$\overline{D}_3 = \overline{D}_1 \mu_2 + 2\overline{D}_m = \overline{D}_2 \mu_1 + 2\overline{D}_k$$

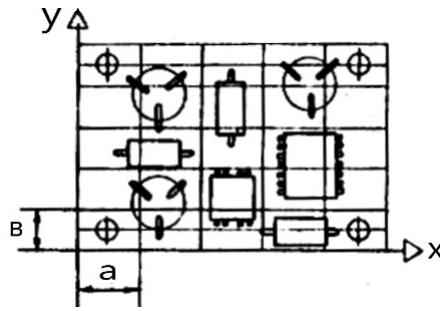


Рис. 1. Чертеж печатного узла с нанесенной сеткой

главная жесткость;

$$\bar{D}_k = \frac{\bar{G}S^3}{12}$$

жесткость кручения;

$$\bar{G} = \frac{E_{45}}{2(1 + \mu_{45})}$$

модуль сдвига материала печатной платы;

$S$  — Толщина платы;

$E_1, E_2, E_{45}$  — модули упругости материала платы по осям  $x, y$  и под углом  $45^\circ$  к осям соответственно;

$\mu_1, \mu_2, \mu_{45}$  — коэффициенты Пуансона материала платы по осям  $x, y$  и под углом  $45^\circ$  к осям соответственно (считаем, что направление осей  $x$  и  $y$  совмещено с направлением сторон печатной платы).

Так как на печатной плате установлены ЭРЭ, необходимо учесть их массу и цилиндрическую жесткость, которая вычисляется по тем же формулам, что и для печатной платы. Это относится в основном к ЭРЭ, жестко скрепленным с платой. Для навесных ЭРЭ их цилиндрической жесткостью можно пренебречь. Вычисленную жесткость ЭРЭ суммируем с цилиндрической жесткостью соответствующего участка ПУ, то есть того, где установлен ЭРЭ.

Для учета рассеяния энергии на внутреннее трение в материале платы используется гипотеза Сорокина, сущность которой состоит в комплексном представлении упругих постоянных материала. Комплексный модуль упругости выразится как:

$$\bar{E}_1 = E_1 + (i + j\gamma), i = 1, 2, 4, 5 \dots \quad (2)$$

Где  $E_1$  — статический модуль упругости;

$\gamma$  — коэффициент механических потерь.

Коэффициент механических потерь связан с логарифмическим декрементом затухания колебаний (ЛДЗК) следующим соотношением:

$$\gamma = \Delta/k, \quad (3)$$

Значения ЛДЗК в зависимости от механических напряжений при изгибных колебаниях для ряда конструкционных материалов, применяемых для изготовления несущих конструкций РЭС, приведены в [2].

Для определения  $\gamma$  необходимо знать механическое напряжение, которое можно получить только после решения уравнения (1). Поэтому решение приходится проводить в несколько итераций. Вначале решается уравнение при ориентировочном значении  $\gamma$ , затем вычисляется напряжение и корректируется  $\gamma$ .

При проектировании конструкций РЭС большое значение имеет анализ их динамических свойств в частотной области [3]. Для перехода в (1) в частотную область воспользуемся экспоненциальной формой представления переменных величин, в данном случае прогиба  $w$ ;

$$W_t^{(t)} = \bar{W}_t \theta^{j\omega t}, \quad (4)$$

Где  $\bar{W}$  — комплексная амплитуда прогиба в точке 1 печатного узла.

Замерим в (1) частные производные по координатам приближенными выражениями через конечные разности:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 W_1}{\partial x^4} &= (i \in W_1 - 4(W_1 + W_3)W_{10} + W_{12}1/a^4; \\ \frac{\partial^4 W_1}{\partial y^4} &= (i \in W_1 - 4(W_1 + W_4)W_9 + W_{11}1/b^4; \\ \frac{\partial^4 W_1}{\partial x^4 \partial y^2} &= (4W_1 - 2(W_1 + W_2 + W_3 + W_4) + \\ &W_5 + W_6 + W_7 + W_8)/a^2 b^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Где  $a$  и  $b$  — шаги сетки по осям  $X$  и  $Y$ , накладываемой на чертеж печатного узла, как это показано на рисунке 1;

$W_1 - W_{12}$  — прогибы печатного узла от исходного положения равновесия в точках 1–12, расположенных в уз-

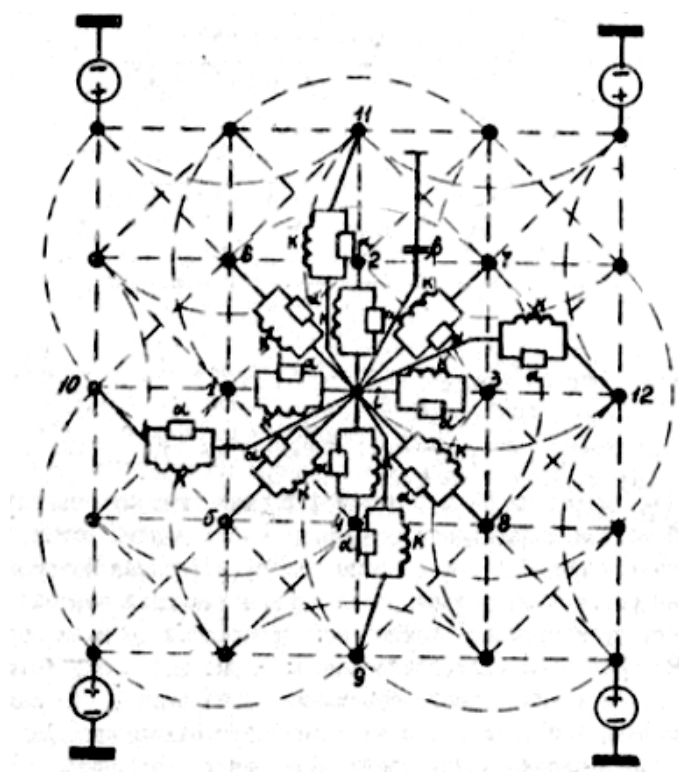


Рис. 2. Топологическая модель печатного узла РЭС

лах сетки вокруг произвольной точки 1, как это показано на рисунке 2.

Подставим (4) и (5) в (1). После группировки слагаемых с одинаковыми значениями прогибов получим:

$$\begin{aligned}
 & -4 \frac{\overline{D}_1 b^2 + \overline{D}_3 a^2}{a^4 b^2} \sum_{i=1,3} (\overline{W} - \overline{W}_1) - \\
 & -4 \frac{\overline{D}_2 a^2 + \overline{D}_3 b^2}{a^2 b^4} \sum_{i=2,4} (\overline{W}_i - \overline{W}_t) + \\
 & + \frac{2\overline{D}_3}{a^2 b^3} \sum_{r=s} (\overline{W}_a - \overline{W}_1) + \\
 & + \frac{\overline{D}_1}{a^4} \sum_{i=10:12} (\overline{W}_1 - \overline{W}_i) + \frac{\overline{D}_2}{b^4} \sum_{i=10:12} (\overline{W}_1 - \overline{W}_i) + \\
 & + \frac{\overline{D}_2}{b^4} \sum (\overline{W} - \overline{W}_1) + m_t (j\omega)^a \overline{W}_1 = 0, \quad (6)
 \end{aligned}$$

Поскольку чертеж на рис. 1 разделен сеткой на участки площадью  $ab$  каждый, то в последнем слагаемом полученного уравнения целесообразно перейти к массе участка, в центре которого расположена точка 1. Разделим исходное слагаемое в уравнении (6) на  $J\psi$ . Наконец, раскроем в уравнении (1) комплексной жесткости в виде:

$$\overline{D}_1 = D_1(i + j\gamma), i = 1, 2, 3$$

и выделим отдельно консервативные и диссипативные параметры. После указанных преобразований уравнение (1) примет вид, который можно представить в унифицированных обозначениях:

$$\sum_{i=1}^{12} h_{1i} (\varphi_1 - \varphi_i) + h_{1,0} \varphi_1 = 0. \quad (7)$$

Где  $\varphi_1 = \overline{W}_1, \varphi_i = \overline{W}_i$  — потенциальные переменные величины узлов топологической модели печатного узла;

Обобщенные параметры ветвей модели выразим уравнением:

$$h_{1,t} = \frac{1}{j\omega k_{1,1}} + a_{1,2} h_{1,0} = j\omega B_{1,0}. \quad (8)$$

Причем:

$$\begin{aligned}
 k_{1,1} = k_{1,3} &= -\frac{a^3 b}{4(D_1 b^2 + D_3 a^2)}; \\
 k_{1,2} = k_{1,4} &= -\frac{a^3 b}{4(D_2 a^2 + D_3 b^2)};
 \end{aligned}$$

$$k_1 = -\frac{ab}{2D_3}; r = 5,6,7,8; k_{1,9} = k_{1,t} = \frac{b_3}{D_2 a};$$

$$k_{1,10} = k_{1,12} = \frac{a^3}{D_t b};$$

$$a_{1,2} = \frac{\Gamma}{\omega k_{1,2}} r = 1 \dots 12; v_{1,0} = abm_1$$

Как видно из (7), любой 1-й узел синтезированной топологической модели должен быть соединен с 12 узлами сетки, окружающими 1-й узел (см. рис. 2), и с общим узлом, потенциал которого принят за нуль (на рис. 2 он условно обозначен полужирной чертой). На рис. 2 показаны пунктиром все ветви той логической модели прямоугольного участка печатного узла, показанного на рис. 1 между точками крепления 1, 2, 3 и 4. Из первого выражения (8) видно, что каждая ветвь, соединяющая 1-й узел с гнездом из двенадцати выделенных узлов, представляет собой параллельное соединение двух пассивных компонентов: консервативного с параметром  $k$ ; и диссипативного с параметром. На рис. 2 показано электрическое изображение этих компонентов, что подчеркивает возможность построения топологической механической модели ПУ в виде электрической сетки. Ка общий узел из каждого 1-го узла модели идет ветвь, содержащая консервативный компонент с параметром  $\beta_1$ . Потенциальные переменные узлов, соответствующих мостам крепления платы, должны быть заданы. Поэтому ветви этих узлов, идущие на общий узел, содержат потенциальные активные компоненты.

В результате расчета могут быть получены перемещение и ускорение в узлах модели печатного узла. Механические напряжения по оси  $x$  в 1-й точке рассчитываются по формуле:

$$y_1 = \frac{E_1 S}{2(1 - m_1 m_a)} \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) + m_1 \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2}, \quad (9)$$

и по оси  $y$ :

$$y_1 = \frac{E_1 S}{2(1 - m_1 m_a)} \left( \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} \right) + m_1 \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2}. \quad (10)$$

Эквивалентное механическое напряжение в узле модели ПУ определяется согласно энергетической гипотезе по формуле:

$$y = \sqrt{y_1^2 + y_2^2 - y_1 y_2}. \quad (11)$$

Выражения (9), (10) аналогично (5) представляются конечными разностями. Напряжение  $\sigma$  используется для коррекции  $\gamma$ .

Для анализа механических процессов в ЭРЭ необходимо иметь возможность определять перемещение,

ускорение и угол изгиба в любой точке ПУ по осям  $X$  и  $Y$ . Нужно перейти от дискретной модели к непрерывной путем интерполяции функции двух переменных  $x$  и  $y$  по четырем точкам:

$$W(x, y) = (i - p)(i - m)W_{i,j} + p(i - m)W_{i+i,j} + (i - p)mW_{i,j+1} + pmW_{i-1,j+1}. \quad (12)$$

Где  $p = (x - x_1)/h$ ,  $m = (y - y_1)/l$ ;  $h$  — шаг изменения  $x$ ;  $l$  — шаг изменения  $y$ ;

$$W_{i,j}; W_{i+i,j}; W_{i,j+i}; W_{i+i,j+i} —$$

перемещения в узлах дискретной модели.

Учитывая, что угол изгиба платы вдоль определенной оси — это есть первая производная функции перемещения по соответствующей координате, получим на основе (12) выражения для углов изгиба:

$$\alpha_x = (1/\omega^2)((W_{1=1,j} - W_{i,j})/h + (W_{1,j} - W_{i+i,j} - W_{i,j+i} + W_{i+i,j=1})(y - y_1)/hl), \quad (13)$$

$$\alpha_y = (1/\omega^2)((W_{1=1,j} - W_{i,j})/l + (W_{1,j} - W_{i+i,j} - W_{i,j+i} + W_{i+i,j=1})(x - x_1)/hl). \quad (14)$$

Где  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$  — углы изгиба сечений ПУ вдоль осей  $X$  и  $Y$  соответственно.

Расчет ПУ аналитическими методами для ограниченного числа вариантов крепления плат с равномерным расположением ЭРЭ представлен в [4]. Там нет необходимости в дискретизации и интерполяции, так как по полученной формуле можно определить значение механической характеристики в любой точке. При этом в [4] не учитывается анизотропия свойств печатной платы по различным направлениям, а также используется линейная механическая модель, полученная на основе решения уравнения (1) методом Рэлея-Ритца.

Первая собственная частота колебаний ПУ рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{ПУ}} = \frac{a}{2ka^2} \sqrt{\frac{D}{m}}. \quad (15)$$

Где  $a$  — коэффициент, учитывающий характер крепления платы;

$D$  — Цилиндрическая жесткость платы;

$m$  — Масса единицы площади ПУ.

$$D = \frac{ES^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (16)$$

$$m = \rho S + m_i. \quad (17)$$

$$a = N_1 \sqrt{N_2 + N_3 \left(\frac{a}{y}\right)^2 + N_4 \left(\frac{a}{y}\right)^4}. \quad (18)$$

$$a = 18,33 \sqrt{\frac{5(1 + 2l^2/3 + l^4)/2 + m(1 + l^4)}{1 + 3l^2 + 21l^4/5 + 3l^6 + l^8}}; \quad (19)$$

$$a = \frac{13,66 \sqrt{1/l^2(1 - 4l^2/3) + 32l^4/3 - 4l^6/3 + l^8} + 3m(1 + 22l^2 + l^4)/8}{l(1 + 11l^2/9 + l^4)}, \quad (20)$$

$$b = 114,47 \sqrt{\frac{1 + 8/13l^4 + 5m/13}{1 + 7l^2 + 119l^4/5 + 36l^6 + 16l^8}}. \quad (21)$$

$$W_j(x, y) = \frac{a_6 c_k x_1(x) Y_1(y)}{(2\Pi\Pi_{\text{ПУ}})^{a, \Gamma}}. \quad (22)$$

$$\Gamma = \frac{l}{\sqrt{f_{\text{ПУ}}}}. \quad (23)$$

$$C_k = \frac{S_{1x} S_{1y}}{S_{2x} S_{2y}}. \quad (24)$$

Цилиндрическая жесткость  $D$  и масса  $m$  определяют по формулам (16), (17).

Где  $E$  — усредненный модуль упругости и плотность материала платы соответственно;

$\mu$  — усредненный коэффициент Пуассона материала платы;

$S$  — Толщина платы;  $m$  — Масса РЭ, приходящаяся на единицу площади.

Для плат, закрепленных по контуру, коэффициент,  $a$  определится по формуле (18).

Где  $a, b$  — длина и ширина плат соответственно;  
 $N_1, N_2, N_3, N_4$  — коэффициенты, приведенные для некоторых случаев в зависимости от способа крепления платы.

Для плат, закрепленных в четырех точках по углам, в пяти точках по углам и в центре, а также в шести точках по периметру коэффициент,  $a$  соответственно будет равен (19), (20), (21).

Где  $a$  — отношение ширины платы  $b$  к длине  $a$ .

Амплитуда виброперемещения при резонансе, зависящая от соответствующих координат  $x$  и  $y$  (22).

Величина КМП приближенно определяется по формуле (23).

Коэффициент  $C_{fc}$  — определяется по формуле (24).

Где  $S_{1x}, S_{1y}, S_{1ax}, S_{1ay}$  — интегралы, численные значения которых определяются для конкретного расчёта [5].

$$X_1(x) = \sin \frac{\pi_1 x}{a} + A_1 \cos \frac{\pi_1 x}{a} + B_1 \operatorname{sh} \frac{\pi_1 x}{a} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{a}, \quad (25)$$

$$Y_1(y) = \sin \frac{\pi_1 y}{b} + A_1 \cos \frac{\pi_1 y}{b} + B_1 \operatorname{sh} \frac{\pi_1 y}{b} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 y}{b}, \quad (26)$$

$$a_j(x, y) = a_6 \sqrt{\left(\frac{C_k X_1(x) Y_j(y)}{\Gamma}\right)^2 + 1}, \quad (27)$$

$$n_k = \frac{\partial W_1(x_1 y)}{\partial x} \frac{a_b C_k Y_j(y)}{(2_k f_{\text{ПВ}}) \Gamma} \frac{\pi_1}{a} \left(\cos \frac{\pi_1 x}{a} + A_1 \sin \frac{\pi_1 x}{a} + B_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{a} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{a}\right), \quad (28)$$

$$n_y = \frac{\partial W_1(x_1 y)}{\partial y} \frac{a_b C_k Y_j(y)}{(2_k f_{\text{ПВ}}) \Gamma} \frac{\pi_1}{y} \left(\cos \frac{\pi_1 x}{y} + A_1 \sin \frac{\pi_1 x}{y} + B_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{y} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{y}\right), \quad (29)$$

$$y_1 = (x, y) = \frac{a_6 C_x E S}{2(2\Pi f_{\text{ПВ}})^2 \Gamma (1 - M^2)} \left( -\sin \frac{\pi_1 x}{a} - A_1 \cos \frac{\pi_1 x}{a} + B_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{b} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{b} + M \left( -\sin \frac{\pi_1 y}{b} - A_j \cos \frac{\pi_1 y}{b} + B_j \operatorname{sh} \frac{\pi_1 y}{b} + C_j \operatorname{ch} \frac{\pi_1 y}{b} \right) \right), \quad (30)$$

$$y_2 = (x, y) = \frac{a_6 C_k E S}{2(2\Pi f_{\text{ПВ}})^2 \Gamma (1 - M^2)} \left( -\sin \frac{\pi_1 y}{a} - A_1 \cos \frac{\pi_1 y}{a} + B_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 y}{b} + C_1 \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{b} + M \left( -\sin \frac{\pi_1 x}{b} - A_j \cos \frac{\pi_1 x}{b} + B_j \operatorname{sh} \frac{\pi_1 x}{b} + C_j \operatorname{ch} \frac{\pi_1 x}{b} \right) \right), \quad (31)$$

$$y(x, y) = \sqrt{y_1(x_1 y)^2 + \pi_2(x_1 y)^2 - y_1 y_2} \quad (32)$$

Балочные функции  $X_1(x)$ ,  $Y_j(y)$  определяются по формулам (25), (26).

Значения параметров  $\pi_1$ ,  $\pi_j$  и коэффициентов  $A_1$ ,  $A_j$ ,  $B_1$ ,  $B_j$ ,  $C_1$ ,  $C_j$ , рассчитываются для конкретной платы [6].

Амплитуда виброускорения в различных точках платы рассчитывается по формуле (27).

Углы изгиба сечений ПУ вдоль осей X и Y соответственно определяются по формулам (28), (29), (30), (31), (32).



Механические напряжения в точка с координатами  $x$  и  $y$  рассчитываются по формулам, полученным на основе выражений (9), (10), (11), (22), (25), (26)

Математический аппарат, приведенный в данной статье, успешно попользуется для экспресс-анализа на начальных стадиях проектирования печатных узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофанов Ю.Н., Новиков А. С., Шалумов А. С. Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 2000. — 160 с.
2. Кофанов Ю.Н., Сотникова С. Ю. Информационные технологии теплового и механического моделирования радиоэлектронных средств. М.: НИУ ВШЭ, 2014. — 88 с.
3. Матвеев С.Е., Кофанов Ю. Н., Ройзман В. П. Методы системного анализа вибрационной прочности изделий. М.: Радио и связь, 2002. — 178 с.
4. Муромцев Д.Ю., Тюрин И. В., Белоусов О. А., Курносов Р. Ю. Проектирование функциональных узлов и модулей радиоэлектронных средств. Учебное пособие. — М: Издательство Лань СПб, 2018. — 252 с.
5. Токарев М.Ф., Талицкий Е. Н., Фролов В. А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов/Под ред. В. А. Фролова. — М.: Радио и связь, 1984. — 224с.
6. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. — Т. 6. /Под ред. К. В. Фролова. — М.: Машиностроение, 1981. — 456с.

© Андрюхин Александр Гаврилович ( pr1110@list.ru ), Грачев Николай Николаевич ( ngrachev@mail.ru ),

Бойко Денис Владимирович ( den87-2004@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИРЭА — Российский технологический университет

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВЫХ ПАРОСОЧЕТАНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ В ЭЛЕКТРОННОМ ОБУЧЕНИИ

## THE USE OF THE THEORY OF STABLE MATCHING TO AUTOMATE THE CHOICE OF EDUCATIONAL PATH IN E-LEARNING

**A. Antonikov  
A. Nesterov  
T. Ermakova**

*Summary.* This paper discusses the problems of e-learning associated with the automation of the choice of educational trajectory. As one of the methods for developing the corresponding algorithms, the theory of stable matching D. Gale and L. Shapley is proposed. The requirements for classification, processing of expert assessments are considered, the functionality of the relevant information systems is proposed.

*Keywords:* e-learning, individualized educational program, propose-and-reject algorithm, Gale-Shapley algorithm.

**Антоников Александр Александрович**

Аспирант, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
antonikov.alexandr@gmail.com

**Нестеров Андрей Владимирович**

Д.ф.-м.н., профессор, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
andrenesterov@yandex.ru

**Ермакова Татьяна Николаевна**

К.т.н., доцент, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
ermaktat@bk.ru

*Аннотация.* В настоящей работе рассматриваются проблемы электронного обучения, связанные с автоматизацией выбора образовательной траектории. В качестве одного из методов для разработки соответствующих алгоритмов предлагается теория обобщенных паросочетаний Д. Гейла и Л. Шепли. Рассматриваются требования к классификации, обработке экспертных оценок, предлагается функционал соответствующих информационных систем.

*Ключевые слова:* дистанционное образование, индивидуальная образовательная траектория, задача об устойчивом паросочетании, алгоритм Гейла-Шепли.

## Введение

**К**онцепция электронного обучения описывает различные формы применения информационных технологий в образовательном процессе, начиная от распространения учебных материалов до проверки знаний в режиме «онлайн». Быстрое развитие информационных технологий постоянно приводит к появлению новых форматов электронного обучения. Одним из перспективных трендов последних лет в электронном образовании можно назвать применение индивидуальных образовательных траекторий в процессе получения знаний обучающимися. Данный подход предполагает наличие систем планируемых результатов обучения, диагностики уровня актуального развития обучающихся и прогнозирования ближайшей перспективы развития обучающихся [1].

## 1. Планируемые результаты обучения

Образовательная программа по направлению подготовки формируется образовательной организацией самостоятельно на основе утвержденных локальных нормативных актов этой организации, не противоречащих ФГОС ВО по данному направлению подготовки. Номера семестров, а также трудоемкость и форма промежуточной аттестации каждой дисциплины, модуля или практики, входящих в обязательную часть, устанавливаются образовательной организацией самостоятельно и фиксируются в рабочей программе дисциплины, при этом в рабочей программе указывается место дисциплины в образовательной программе и перечень дисциплин, формирующих базовые знания для успешного освоения программы. В соответствии с этими нормативными документами профессорско-преподавательский состав

```

1: while there is an unpaired man do
2:   pick an unpaired man  $X$  and the first woman  $w$  on his list
3:   remove  $w$  from his list so it won't be picked again
4:   if  $w$  is engaged then
5:     if  $w$  prefers  $X$  more than her current partner  $Y$  then
6:       set  $X-w$  as married
7:       set  $Y-w$  as unmarried so now  $Y$  is unpaired
8:     else
9:        $X$  is still unpaired since  $w$  is happier with  $Y$ 
10:    end if
11:  else
12:    the woman was not previously paired so accept immediately,  $X-w$ , as married
13:  end if
14: end while

```

Рис. 1. Классический алгоритм Гейла-Шепли

формирует перечень заданий, которые обучающийся должен выполнить в процессе освоения дисциплины в рамках практических и самостоятельных занятий, при этом набор заданий должен максимально способствовать освоению обучающимся требований, установленных в результатах освоения дисциплины [2–4].

## 2. Подбор заданий для обучающихся с учетом степени освоения материала

Так как уровень усвоения материалов дисциплины у разных обучающихся может значительно варьироваться, задачу распределения заданий обучающимся в терминологии теории графов можно представить как задачу поиска паросочетания максимальной мощности в двудольном графе (Д. Кенига, Ф. Холла) [5]. Эта задача позволяет учитывать предпочтения относительно возможных пар, которые связаны с разными группами объектов, представляемых в теоретико-игровом смысле в качестве игроков. Теория обобщенных паросочетаний, предложенная Д. Гейлом и Л. Шепли [6] в 1962 году, позволяет учитывать предпочтения отдельных игроков при выборе распределения. Под введенным этими учеными термином «устойчивое обобщенное паросочетание» понимается паросочетание, от которого игроки не захотят отказаться. Данная теория доказывает, что устойчивое паросочетание существует постоянно. Также учеными был предложен механизм построения устойчивого паросочетания в графе в классическом варианте ими была использована модель «один ко многим». В этой модели игроки одной из подгрупп могут входить в состав не одной, а нескольких пар. На рисунке 1 представлен классический алгоритм Гейла-Шепли. В дальнейшем в исследованиях Д. Гейла, Э. Рота, Л. Дубинса, Д. Фридмана, М. Сотомайора,

Р. Ирвинга, Ч. Блэра, Д. Хатфильда, П. Милгра [7] и других ученых данная задача рассматривается с других сторон и предлагаются разные подходы к процессу моделирования предпочтений и определения устойчивости. В теории обобщенных паросочетаний для обозначения групп игроков в моделях «один ко многим» используются термины «абитуриенты» и «вузы». Стоит отметить, что модели являются по своей сути абстрактными, а результаты, полученные с их помощью, могут быть использованы применительно к любым подобным системам.

В работе Д. Гейла и Л. Шепли, а также во многих исследованиях А. Рота и М. Сотомайора предполагается, что предпочтения, имеющиеся у игроков, заданы линейно, т.е. каждый игрок может упорядочить потенциальных партнеров строго по уровню их предпочтительности. В реальности предпочтения игрока часто основываются на недостаточно точных измерениях, также может не хватать информации. В таком случае становится актуальной задача изучения моделей, в которых некоторые альтернативы могут не отличаться для игрока по предпочтительности, т.е. предпочтения игрока не могут быть представлены линейно. Существует случай, когда отношения предпочтения игроков  $P_i$  являются слабыми порядками, и тогда возникает проблема построения устойчивого обобщенного паросочетания. Эта проблема впервые была выявлена А. Ротом, в дальнейшем над ней работал Р. Ирвинг, который предложил модифицированное определение устойчивого паросочетания. Также эта проблема была рассмотрена в трудах А. Абулкадироглу, Т. Сонмеза, П. Патака, Д. Манлова, А. Эрджилла и Х. Эрдила в 2003–2009 гг. [7].

При этом необходимо учесть, что результат поиска устойчивых паросочетаний может быть значительно искажен в случае предоставления некорректной информации по предпочтениям игроков.

### 3. Классификация заданий для автоматизированного распределения заданий

Применительно к задаче распределения задач обучающимся необходимо максимально точно классифицировать сильные и слабые стороны, продемонстрированные обучающимся в процессе решения задач и получения образовательных результатов решения заданий [8–10].

Основой для данной классификации должна быть информация о заданиях и результатах выполнения заданий, полученная от экспертов, обработанная затем с помощью ранговых процедур. Классификация задач должна учитывать:

1. Возможное наличие у задач межпредметного взаимодействия, которое будет говорить о том, что для успешного решения задачи нужно применить навыки и знания, полученные при изучении другой дисциплины;
2. Разбиение итоговой оценки на ряд критериев, каждый из которых может иметь свою шкалу оценки;
3. Список формируемых компетенций, обозначенных в образовательной программе и рабочем плане дисциплины;
4. С учетом временного ограничения на решение заданий представляется важным также получить экспертные оценки на длительность выполнения заданий обучающимися.

Результатом обработки мнений экспертов будет являться база классифицированных заданий, из которой задания можно распределять обучающимся, основываясь на результатах оценки выполненных ранее заданий и с учетом того, что обучающийся за время, отведенное на выполнение заданий, должен максимально охватить все темы дисциплины и сформировать максимальное количество компетенций.

Успешность выполнения задания, в свою очередь, должна проверяться с учетом соответствия овладения обучающимся материала по различным критериям данной классификации. Набор заданий, выполняемых обучающимся в рамках изученной дисциплины, должен затрагивать все темы, обозначенные в рабочем плане дисциплины, и формировать у обучающегося перечисленные там же компетенции.

### 4. Функциональные требования к информационной системе распределения заданий среди обучающихся

Процесс обработки мнения экспертов и распределения заданий должен быть автоматизирован. Для этого

нужно разработать программный продукт, автоматизирующий выполнение следующих функций:

1. Добавление пользователей с распределением прав по ролям (студент, преподаватель-эксперт)
2. Добавление дисциплины с указанием списка формируемых компетенций и списка ранее изученных предметов, на которых базируется данная дисциплина, списка изучаемых тем, количества часов, выделенных на изучение дисциплины, в том числе с указанием часов, отведенных на практические и лабораторные занятия, а также на самостоятельную работу;
3. Добавление задания, где указывается дисциплина/список дисциплин, тема/список тем, наименование задачи, краткая постановка, присутствует возможность приложить дополнительные материалы для решения задачи в виде файлов;
4. Создание анкет/наборов анкет для опроса мнения экспертов о задачах;
5. Проведение оценки задания с помощью опроса эксперта по анкете;
6. Обработка мнений экспертов с целью получения объективной классификации задачи;
7. Проверка списка задач, оцененных экспертами по дисциплине на полноту охвата изучаемых тем, формируемых компетенций, количества часов, отведенных на практические занятия;
8. Назначение обучающемуся задания, основанное на подборе паросочетания с учетом предпочтений, заключающихся в качественном освоении дисциплины, с учетом оценки текущего уровня знаний, основанном на результатах выполнения заданий, и с учетом результатов оценки заданий по базовым дисциплинам, изученным ранее;
9. Прикрепление к заданию результата выполнения в виде файлов/наборов файлов;
10. Оценка задания преподавателем по критериям, выделенным экспертами в процессе классификации задачи, с возможностью оставления комментария к результатам;
11. Для обучающегося должна быть возможность просмотреть все ранее выполненные задания, с оценками, комментариями, вложениями;
12. Для преподавателей должна быть возможность просмотреть список выполненных обучающимися заданий, нуждающихся в оценке;
13. Для преподавателей должна быть возможность просмотреть информацию о степени освоения обучающимся дисциплины, полученной на основе данных о выполненных по дисциплине заданиях.

Часть описанных функций в том или ином виде присутствует в используемых в образовательном учрежде-



Рис. 2. Место модуля в системе дистанционного образования

нии информационных системах дистанционного образования (СДО), и имеет смысл рассматривать данные требования как требования к реализации нового обособленного функционала подсистемы проверки знаний СДО (рисунок 2).

Реализация данного модуля в значительной степени будет определяться возможностями СДО и потребностями образовательной организации [11]. При проектировании и реализации подобной подсистемы необходимо реализовывать функционал максимально отделяемыми атомарными единицами для обеспечения возможности вносить последующие корректиру-

щие изменения, не затрагивая остальной функционал СДО.

### Заключение

Исходя из того, что во ФГОС зафиксирована возможность применения индивидуальной образовательной траектории в процессе обучения, появление в системах электронного обучения соответствующего функционала лишь вопрос времени, а поднятые в статье вопросы классификации заданий для последующего распределения среди обучающихся будут актуальны для разработчиков подобных решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Барсукова К.Н., Чискидов С. В., Павличева Е. Н. Актуальные проблемы автоматизации учета результатов обучения студентов в вузе (на примере ИМИИЕН ГБОУ ВПО МГПУ) // Информационные ресурсы России. — 2015. — № 3 (145). — С. 37–39.
2. Gorelov G. V., Romashkova O. N. Influence of Russian, Spanish and Vietnamese speech characteristics on digital information transmission quality // IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE'96. Part 1 (of 2). sponsors: IEEE, Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland, 1996, p.311–313.
3. Bobrikova E., Gaidamaka Y., Romashkova O. The application of a fluid-based model for the analysis of the distribution time of a file among users in peer-to-peer network // Selected Papers of the II International Scientific Conference "Convergent Cognitive Information Technologies" (Convergent 2017). CEUR Workshop Proceedings, Volume 2064. p. 55–61. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2064/paper06.pdf>.

4. Gudkova, I.A., Romashkova, O.N., Samoylov, V. E. Determination of the range of the guaranteed radio communication in wireless telecommunication networks of IEEE802.11 standard with the use of ping program // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings 8. Сер. "ITMM 2018 — Proceedings of the Selected Papers of the 8th International Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"" 2018. С. 54–59.
5. Оре О. Графы и их применение. — М.: Изд-во «Мир», 1965.
6. Gale D., Shapley L. S. College admissions and the stability of marriage // American Mathematical Monthly. — 1962. — Vol. 69. — P. 9–16.
7. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д. А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. — М.: Физматлит, 2012.
8. Ромашкова О.Н., Ермакова Т. Н. Этапы реализации методики выбора информационной модели для оценки показателей качества обучения // В сборнике: Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики Материалы 7-й научно-практической internet-конференции. отв. ред. Ю. С. Нагорнов. 2016. С. 318–321.
9. Ермакова Т.Н., Ромашкова О. Н., Пономарева Л. А. Модернизированная структура управления образовательной системой // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 6 (79). С. 84–91.
10. Ромашкова О.Н., Ермакова Т. Н. Применение инфокоммуникационных технологий для анализа показателей качества обучения образовательного комплекса // В сборнике: Технологии информационного общества X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. С. 388–389.
11. Антониов А.А., Чискидов С. В., Павличева Е. Н. Разработка модуля системы дистанционного обучения для проверки знаний в области программирования // Информационные ресурсы России. 2012. № 3 (127). С. 32–34.

---

© Антониов Александр Александрович ( antonikov.alexandr@gmail.com ),  
Нестеров Андрей Владимирович ( andrenesterov@yandex.ru ), Ермакова Татьяна Николаевна ( ermaktat@bk.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский городской педагогический университет

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРПОРАТИВНЫХ ПРАКТИК РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## THE USE OF CORPORATE PRACTICES IN SOFTWARE DEVELOPMENT IN EDUCATIONAL PROCESS OF COMPUTER SCIENCE STUDENTS

**A. Antonikov  
A. Nesterov  
T. Ermakova**

*Summary.* This paper discusses the problems of integration into the educational process the best practices of software development, such as: use of version control systems; use of continuous integration services; use of services for continuous analysis and measurement of code quality; use of bug tracking systems.

*Keywords:* quality of education, educational process, version control systems, continuous integration services, bug tracking systems.

**Антоников Александр Александрович**

Аспирант, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
antonikov.alexandr@gmail.com

**Нестеров Андрей Владимирович**

Д.ф.-м.н., профессор, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
andrenesterov@yandex.ru

**Ермакова Татьяна Николаевна**

К.т.н., доцент, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский городской педагогический университет»  
ermaktat@bk.ru

*Аннотация.* В настоящей работе рассматриваются проблемы интеграции в образовательный процесс лучших практик разработки программного обеспечения, таких, как: использование систем контроля версий; использование сервисов непрерывной интеграции; использование сервисов для непрерывного анализа и измерения качества кода; использование систем отслеживания ошибок.

*Ключевые слова:* качество образования, образовательный процесс, система контроля версий, сервис непрерывной интеграции, система отслеживания ошибок.

## Введение

Одним из ключевых показателей качества образования считается востребованность выпускника на рынке труда. Суть современной модели образовательной системы заключается в обеспечении выпускника не только определенным количеством профессиональных знаний [1], но и набором необходимых ключевых компетенций, позволяющих оперативно адаптироваться в быстро изменяющихся социально-экономических условиях и использовать полученные знания в процессе создания новой, способной конкурировать на рынке продукции и услуг. Одним из таких постоянно изменяющихся рынков труда является рынок информационных технологий, поэтому задача подготовки специалиста, востребованного на данном рынке, является актуальной. Одним из возможных решений для образовательного учреждения в процессе подготовки таких специалистов может быть включение в образовательный процесс лучших практик разработки программного обеспечения, таких, как:

1. Использование систем контроля версий;
2. Использование сервисов непрерывной интеграции;
3. Использование сервисов для непрерывного анализа и измерения качества кода;
4. Использование систем отслеживания ошибок.

## 1. Использование системы контроля версий в образовательном процессе

Одними из важнейших инструментальных средств, служащих для разработки программного обеспечения (VCS), являются системы управления версиями [2]. Данные системы предназначены для решения следующих задач:

1. Хранение предыдущих версий файлов;
2. Возможность получить доступ к предыдущим версиям хранимых файлов;
3. Возможность просматривать изменения, внесенные пользователями;
4. Сохранение и просмотр комментариев со ссылкой на авторов внесенных изменений.

Образовательные организации, реализующие образовательные программы по подготовке специалистов в области IT-технологий, должны внести дисциплины, связанные с изучением возможностей таких систем, в свои учебные планы [3–4]. Это решение позволит подготовить обучающегося к тем ситуациям, с которыми он столкнется в своей профессиональной деятельности. Необходимость добавления изучения VCS в образовательные программы заключается в том, что в современных условиях для выполнения текущих рабочих задач необходимо использовать инструменты, обеспечивающие поддержку распределенной командной работы [4].

Применение преподавателем в образовательном процессе системы контроля версий имеет несколько потенциальных преимуществ, например:

1. мониторинг успеваемости обучающихся [5];
2. управление материалами курсов, заданиями;
3. мониторинг и визуализация вклада членов студенческих команд;
4. обнаружение плагиата.

Рассмотрим пример использования студентами системы контроля версий в случае выполнения заданий преподавателя. Возможная последовательность их действий может выглядеть следующим образом:

1. создание репозитория;
2. обновление локальных данных из репозитория;
3. работа с файлами (добавление, изменение);
4. фиксирование изменений в репозитории.

В зависимости от сложности выполняемого задания данные этапы могут повторяться в течение всего времени, требующегося для выполнения обучающимися поставленной задачи.

Рассмотрим также предполагаемые преимущества применения VCS в образовательном процессе:

1. процесс отслеживания прогресса выполнения заданий студентами станет более простым и прозрачным для преподавателя, например, быстрый просмотр журнала учета изменений позволит увидеть информацию о том, как студент выполнял полученное задание: делал ли он его постепенно и размеренно или задание было выполнено в последний момент;
2. обучающиеся в процессе работы с данными системами приобретут навыки выполнения основных операций в системе;
3. несмотря на то, что применение VCS необходимо и полезно в образовательном процессе, но имеющееся ограничение в ресурсах, предоставляемых для выполнения заданий, и зачастую небольшой объем данных ресурсов не позволят студентам проводить эксперименты и использо-

вать возможности систем контроля версий в полном объеме;

4. грамотно подобранные задания позволят студентам оценить преимущества применения VCS в дальнейшей деятельности;
5. применение VCS в образовательном процессе окажет поддержку в формировании портфолио студента, так как в системе контроля версий могут храниться все выполняемые им задания и история их выполнения.

В процессе внедрения систем контроля версий в образовательный процесс можно столкнуться со следующими проблемами:

1. учитывая то, что изначально не предполагалось использование VCS в образовательных организациях, у обучающихся могут возникнуть некоторые трудности в работе. Одним из вариантов решения данной проблемы является написание руководства пользователя, в котором будут описаны этапы работы с системой;
2. применение VCS на начальном этапе повысит затраты труда преподавателя, которые связаны с подготовкой курса и настройкой системы, кроме этого, в процессе планирования курса необходимо будет учитывать отсутствие у студентов опыта работы с системами контроля версий;
3. так как большая часть студентов предпочитает откладывать выполнение заданий на длительный срок, то для них использование контроля версий не повлечет за собой кардинальных изменений, а поэтапная оценка прогресса выполнения задания также принесет определенные трудности. Чтобы решить данную проблему, можно добавить в курс несколько контрольных точек, прохождение которых будет оцениваться и влиять на итоговую оценку по дисциплине. Для максимального использования студентами контроля версий им необходимо структурировать назначенную работу с учетом конкретных этапов и провести оценку возможных последствий прохождения конкретных контрольных точек;
4. естественно, что применение в образовательном процессе системы контроля версий не позволит автоматически повысить качество обучения или увеличить знания студентов по дисциплине, однако позволит более прозрачно управлять процессом освоения конкретного курса [6–7].

## 2. Использование сервисов непрерывной интеграции в образовательном процессе

Непрерывная интеграция (Continuous Integration) — это одна из практик разработки программного



обеспечения, когда разработчики регулярно объединяют изменения программного кода в центральной репозитории, а после этого автоматически выполняется сборка, тестирование и запуск. Термин «непрерывная интеграция» часто используется на стадии сборки или интеграции процесса выпуска программного обеспечения, в него входит компонент автоматизации (например, сервис непрерывной интеграции или сборки) и компонент культуры разработки (например, обучение частой интеграции). Используя сервисы автоматизированной интеграции в образовательном процессе, преподаватели получают дополнительные возможности по:

1. мониторингу успеваемости обучающихся;
2. получению проектов, выполняемых студентами в рамках полученных от преподавателя заданий, для дальнейшей проверки [8–10].

В процессе выполнения заданий студентам необходимо будет создавать конфигурации сборок проекта и вносить в них изменения по мере работы над выполнением задания. Результатом выполнения задания будет сборка проекта и/или история сборок проекта.

Для успешного внедрения данной практики разработки программного обеспечения преподавателю необходимо подготовить методические указания по работе с сервисами непрерывной интеграции, где будет описан базовый функционал системы и приведен пример настройки сборки проекта.

### 3. Использование сервисов для непрерывного анализа и измерения качества кода

Статический анализ кода — это процесс выявления ошибок и недочетов в исходном коде программ, осуществляемый без реального выполнения исследуемых программ. Статический анализ можно рассматривать как автоматизированный процесс обзора кода.

Программы статического анализа кода позволяют решить следующие категории задач:

1. нахождение ошибок в программах;
2. рекомендации по оформлению кода. Существующие статические анализаторы предоставляют возможности по проверке соответствия исходного кода принятому в компании стандарту оформления кода. В данном случае идет речь о контроле количества отступов в различных конструкциях, использовании пробелов/символов табуляции;
3. подсчет метрик. Метрика программного обеспечения — это мера, которая позволяет получить численное значение некоторого свойства программного обеспечения или его спецификаций,

например, количество строк кода, цикломатическая сложность [11].

При использовании статического анализа необходимо учитывать, что возможны ложно-положительные срабатывания и сложности с диагностикой утечек памяти и ошибок, связанных с многопоточностью.

Применение сервисов статического анализа кода в образовательном процессе приведет к автоматизации процесса проверки выполненных заданий преподавателем.

В качестве одного из результатов выполнения задания студенту необходимо будет предоставить отчет об успешном прохождении статического анализа, для чего в процессе работы потребуется настроить сервис анализа кода для применения в проекте и итерационно исправлять замечания, выявленные сервисом.

### 4. Использование систем отслеживания ошибок в образовательном процессе

Система отслеживания ошибок представляет собой информационную систему, в которой аккумулированы найденные ошибки, пожелания пользователей, с ее помощью можно следить и управлять процессом устранения неполадок и принятия/не принятия пожеланий. В некоторых случаях багтрекинг-систему можно использовать для управления проектами.

Применение систем в образовательном процессе достаточно тривиально, все задания, которые студентам необходимо выполнить, назначаются студентам в багтрекинг-системе. В процессе работы над заданием обучающийся меняет статус назначенной ему задачи, преподаватель, в свою очередь, имеет достаточно удобный интерфейс, позволяющий отслеживать выполнение заданий, при возникновении замечаний в процессе проверки можно вернуть студенту задание для доработки. Помимо этого, можно представить прохождение курса проектом, с точкой старта, точкой окончания, списком заданий для выполнения с оцененной и указанной трудоемкостью, сроком выполнения. В таком случае можно сказать, что студент дополнительно ознакомится с проектным подходом, а преподаватель, получив обратную связь в виде фактических затрат времени на выполнение заданий, получит возможность скорректировать программу освоения дисциплины.

### Заключение

Создание современной IT-инфраструктуры и активное ее использование в образовательном процессе позволит не только повысить востребованность выпускника

на рынке труда, а, следовательно, и качество образования, но и может открыть дополнительные возможности для взаимодействия образовательного учреждения с потенциальными работодателями, например, предоставить компаниям, сотрудничающим с образовательными учреждениями, доступ к системе контроля версий

для оценки способностей потенциальных сотрудников. В свою очередь, интеграция различных информационных сервисов и систем в единую систему позволит образовательному учреждению создать единое информационное образовательное пространство, которым можно будет пользоваться в любое время и в любом месте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каптерев А.И. Профессиональное знание как объект управления: мультидисциплинарный подход: Монография.— Verlag.— Saarbrücken.— Deutschland.— 2012.— 442 с.
2. Gudkova, I.A., Romashkova, O.N., Samoylov, V. E. Determination of the range of the guaranteed radio communication in wireless telecommunication networks of IEEE802.11 standard with the use of ping program // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings 8. Сер. "ITMM 2018 — Proceedings of the Selected Papers of the 8th International Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"" 2018. С. 54–59.
3. M. Cochez, V. Isomöttönen, V. Tirronen, and J. Itkonen. How Do Computer Science Students Use Distributed Version Control Systems? pages 210–228. Springer, 2013.
4. M. Cochez, V. Isomöttönen, V. Tirronen, and J. Itkonen. The use of distributed version control systems in advanced programming courses. In Proceedings of the 9th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harm.
5. Барсукова К.Н., Чискидов С. В., Павличева Е. Н. Актуальные проблемы автоматизации учета результатов обучения студентов в вузе (на примере ИМИИЕН ГБОУ ВПО МГПУ) // Информационные ресурсы России. — 2015. — № 3 (145). — С. 37–39.
6. Ромашкова О.Н., Ермакова Т. Н. Этапы реализации методики выбора информационной модели для оценки показателей качества обучения // В сборнике: Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики Материалы 7-й научно-практической интернет-конференции. отв. ред. Ю. С. Нагорнов. 2016. С. 318–321.
7. Ромашкова О.Н., Ермакова Т. Н. Применение инфокоммуникационных технологий для анализа показателей качества обучения образовательного комплекса // В сборнике: Технологии информационного общества X Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. 2016. С. 388–389.
8. Федин Ф.О., Фролов П. А., Чискидов С. В., Павличева Е. Н. Автоматизация разработки электронных учебно-методических комплексов для кафедр организаций высшего образования // Информационные ресурсы России. 2017. № 6 (160). С. 38–42.
9. Антонилов А.А., Чискидов С. В., Павличева Е. Н. Разработка модуля системы дистанционного обучения для проверки знаний в области программирования // Информационные ресурсы России. 2012. № 3 (127). С. 32–34.
10. Ермакова Т.Н., Ромашкова О. Н., Пономарева Л. А. Модернизированная структура управления образовательной системой // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 6 (79). С. 84–91.
11. Gaidamaka, Y.V., Romashkova, O.N., Ponomareva, L.A., Vasilyuk, I. P. Application of information technology for the analysis of the rating of university // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings 8. Сер. "ITMM 2018 — Proceedings of the Selected Papers of the 8th International Conference "Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems"" 2018. С. 46–53.

© Антонилов Александр Александрович ( antonikov.alexandr@gmail.com ),

Нестеров Андрей Владимирович ( andrenerstov@yandex.ru ), Ермакова Татьяна Николаевна ( ermaktat@bk.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИОНОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ<sup>1</sup>

## NUMERICAL MODELING OF THE DYNAMICS OF IONOSPHERIC PROCESSES IN NATURAL AND MAN-MADE CONDITIONS

*E. Zubkov  
K. Bogomolov  
Yu. Dedkov  
S. Shilova*

*Summary.* A method for numerical modeling of processes in near-Earth space plasma under natural and anthropogenic effects is presented.

The method is implemented in a non-stationary model of the ionosphere-plasmosphere system, which allows one to calculate the distribution of characteristics of low-energy plasma along geomagnetic field lines of arbitrary size, taking into account ambipolar diffusion, photochemical processes, and interaction with a horizontal atmospheric wind.

The mathematical model was used to study the physicochemical processes in the ionospheric plasma, the processes of the dynamic and chemical effects on this plasma medium.

The results of modeling variations in the parameters of ions and electrons in the mid-latitude ionosphere and magnetosphere are presented.

*Keywords:* Ionosphere, plasmasphere, mathematical modeling, numerical simulating, technogenic impact, dipole geomagnetic field.

**Зубков Евгений Вячеславович**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»  
evgenyzubkov@mail.ru

**Богомолов Константин Юрьевич**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»  
kst44@mail.ru

**Дедков Юрий Викторович**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»  
yuri.dedkov@gmail.com

**Шилова София Олеговна**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»  
ya.shelby95@ya.ru

*Аннотация.* Представлен метод численного моделирования процессов в околоземной космической плазме в естественных условиях и условиях антропогенного воздействия.

Метод реализован в нестационарной модели системы ионосфера-плазмосфера, которая позволяет рассчитывать распределения характеристик низкоэнергичной плазмы вдоль геомагнитных силовых линий произвольного размера с учетом амбиполярной диффузии, фотохимических процессов, взаимодействия с горизонтальным атмосферным ветром.

Математическая модель использовалась для исследования физико-химических процессов в ионосферной плазме, процессов динамического и химического воздействия на эту плазменную среду.

Приведены результаты моделирования вариаций параметров ионов и электронов в среднеширотной ионосфере и магнитосфере.

*Ключевые слова:* ионосфера, плазмосфера, математическое моделирование, численное моделирование, техногенные воздействия, дипольное геомагнитное поле.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20–01–00361)

Введение

**В** исследовании ионосферных процессов и явлений важную роль играет разработка физико-математических моделей низкоэнергичной околоземной космической плазмы [1–3].

Исследование различных динамических процессов (транспорт веществ, распространение радиоволн, МГД-волн и др.) в магнитосфере и ионосфере Земли имеет следующие особенности:

- ◆ большая (экспоненциальная по плотности и давлению) неоднородность атмосферы Земли;
- ◆ длительные времена подлежащих моделированию процессов эволюции плазменных образований под совместным действием поля гравитации и магнитного поля Земли;
- ◆ сильно различающиеся доли внутренней и кинетической энергии плазмы в возмущенной области;
- ◆ сложный комплекс физико-химических процессов.

Ионосферно-магнитосферная плазма представляет собой весьма сложную для описания среду прежде всего из-за того, что в нижней своей части, ионосферной, это — слабоионизованная плазма со степенью ионизации 10<sup>-2</sup>–10<sup>-3</sup> (область главного ионосферного максимума), а на больших высотах, в магнитосферной части, она переходит в полностью ионизованную плазму.

Особый интерес представляют исследования околоземной среды в условиях искусственного воздействия на нее.

В качестве таких техногенных воздействий рассматриваются выбросы сгустков легкоионизируемого вещества, плазменных струй, возмущения типа мощной солнечной вспышки (радиоволны), инжекция пучков химически активных нейтральных и заряженных частиц [4–6].

В связи с этим представляются актуальными задачи исследования околоземной плазменной среды с использованием математических моделей, которые учитывают различные типы антропогенных воздействий.

Описание модели и численных алгоритмов

Магнитогидродинамическое описание ионосферной плазмы наиболее естественным образом осуществляется в системе координат, связанной с геомагнитным полем.

Выбором дипольной системы координат сведем физическую задачу трехмерного движения плазмы к двумерной математической задаче в переменных *s* (координата вдоль силовой линии) и *t* (время).

Пространственную картину распределения плазмы можно получить, если учесть ее электрический дрейф. Состав плазмы определим наличием электронов, ионов *O*<sup>+</sup> (<sup>4</sup>*S*), *H*<sup>+</sup>, *NO*<sup>+</sup>, *O*<sub>2</sub><sup>+</sup>, *N*<sub>2</sub><sup>+</sup> и нейтральных частиц *O*<sub>2</sub>, *N*<sub>2</sub>, *O*, *H*, *H*<sub>2</sub>*O*, концентрации которых обозначим через *n<sub>e</sub>*, *n<sub>i</sub>* (*i* = 1, 5), *N<sub>n</sub>* (*n* = 1, 5) соответственно.

Математическая модель основана на численном решении системы уравнений гидродинамики частично ионизированной плазмы для ионов и электронов.

Запишем сначала уравнения для ионов *O*<sup>+</sup>(<sup>4</sup>*S*) и *H*<sup>+</sup>, являющихся основными на высотах *h* > 200 км. Уравнение непрерывности будут иметь следующий вид:

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} + \frac{1}{A(s)} \frac{\partial}{\partial s} (A n_1 u_1) = q_1 + \gamma_5 N_3 n_2 - (\gamma_1 N_2 + \gamma_2 N_1 + \gamma_3 N_4 + \gamma_4 N_5) n_1; \tag{1}$$

$$\frac{\partial n_2}{\partial t} + \frac{1}{A(s)} \frac{\partial}{\partial s} (A n_2 u_2) = \gamma_3 N_4 n_1 - \gamma_5 N_3 n_2. \tag{2}$$

Уравнения движения для ионов:

$$u_j = \frac{1}{R_j + s_{ji}} [m_j g \sin I + s_{ji} u_i + R_j V_{nx} \cos I - \frac{k}{n_e} \frac{\partial (n_e T_e)}{\partial s} - \frac{k}{n_j} \frac{\partial (n_j T_j)}{\partial s}] \tag{3}$$

Уравнения теплового баланса для электронов и ионов запишем в виде

$$\frac{3}{2} k n_e \frac{\partial T_e}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial s} (A \lambda_e \frac{\partial T_e}{\partial s}) + 3 n_e m_e k \sum_i \frac{v_{ei}^*}{m_i} (T_i - T_e) + Q_e^{cm} - \sum_n L_{en}, \tag{4}$$

$$\frac{3}{2} k n_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial s} (A \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial s}) + 3 n_1 v_{1e}^* k (T_e - T_1) + \frac{3 m_1 n_1}{m_1 + n_1} v_{12}^* k (T_2 - T_1) + \sum_n \frac{3 m_1 n_1}{m_1 + m_n} v_{1n}^* k (T_n - T_1) + \frac{3}{2} \gamma_5 N_3 n_2 k (T_n - T_1) - \frac{1}{2} \frac{\gamma_3 N_4 n_4 k T_1}{1 + 16 T_n / T_1}, \tag{5}$$

$$\frac{3}{2} k n_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial s} (A \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial s}) + 3 n_2 v_{2e}^* k (T_e - T_2) +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{3m_2 n_2}{m_1 + n_2} v_{21}^* k (T_1 - T_2) + \sum_n \frac{3m_2 n_2}{m_2 + m_n} v_{2n} k (T_n - T_2) + \\
 & + \gamma_3 N_4 n_1 k (2T_n - \frac{3}{2} T_2) - \frac{1}{2} \gamma_5 N_3 n_2 k T_2. \quad (6)
 \end{aligned}$$

В качестве граничных условий в основаниях силовой трубки задаются равенства  $T_e = T_i = T_n$ .

Будем считать выполненным условие квазинейтральности плазмы

$$n_e = \sum_{k=1}^5 n_k. \quad (7)$$

Здесь индекс  $e$  относится к электронам, индексы  $i = 1, 2$  и  $j = 1, 2$  — к ионам, индекс  $n$  — к нейтральным частицам;  $A$  — расходимость силовых линий геомагнитного поля;  $I$  — магнитное наклонение;  $R_j$  — коэффициент силы трения между ионами  $j$ -го сорта и нейтральными частицами;  $S_{ji}$  — коэффициент силы трения между ионами  $i$ -го сорта и  $j$ -го сорта;  $V_{nx}$  — меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра;  $q_1$  — скорость ионизации атомарного кислорода солнечным ультрафиолетовым (УФ) излучением;  $m_j, u_j, T_j$  — масса, скорость, температура частиц  $j$ -го сорта соответственно;  $k$  — постоянная Больцмана;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5$  — коэффициенты химических реакций [5, 6];  $\lambda_i, \lambda_e$  — коэффициенты теплопроводности ионного и электронного газов;  $v_{in}$  и  $v_{ij}^*$  — частоты столкновений ионов с нейтральными частицами и друг с другом;  $v_{ie}^*$  — частоты кулоновских столкновений ионов с тепловыми электронами;  $Q_e^{cm}$  — скорость нагрева электронного газа сверхтепловыми электронами;  $L_{en}$  — скорость теплообмена электронов с нейтральными частицами.

Конкретные выражения для  $L_{en}, \lambda_e, \lambda_i, \lambda_{in}, v_{ij}^*$  имеются в работе [6]. Скорость нагрева тепловых электронов  $Q_e^{cm}$ , входящая в уравнение теплового баланса, вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned}
 Q_e^{cm} &= \int_0^{E_M} EQ(E) dE + 4\pi k N_e [\Phi_0(E_M) + \\
 & + \int_{E_M}^{\infty} \Phi_0(E) \frac{dE}{E}],
 \end{aligned}$$

где  $E$  — энергия электрона;

$E_M$  — граничная энергия, начиная с которой максвелловское распределение электронов начинает существенно искажаться;

$Q(E)$  — скорость образования фотоэлектронов с энергией от  $E$  до  $E + dE$  при ионизации солнечным УФ-излучением;

$$k = 2.6 \cdot 10^{-12} \text{ эв} \cdot \text{см}^{-2};$$

$\Phi_0(E)$  — изотропная часть потока сверхтепловых электронов.

Потоки сверхтепловых электронов рассчитываются путем решения кинетического уравнения, взятого в квазистационарном дрейфовом приближении, согласно работе [7].

Меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра  $V_{nx}$ , входящая в уравнение движения (3), находится из решения системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial V_{nx}}{\partial t} &= \frac{\xi}{\sin^2 I} \frac{\partial^2 V_{nx}}{\partial s^2} - \frac{1}{\rho_n} \sum_{j=1}^5 n_j R_j (V_{nx} - V_j \cos I) + \\
 & + 2\Omega \sin \varphi V_{ny} - \frac{1}{\rho_n} \frac{\partial P_n}{\partial x}; \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial V_{ny}}{\partial t} &= \frac{\xi}{\sin^2 I} \frac{\partial^2 V_{ny}}{\partial s^2} - \frac{1}{\rho_n} \sum_{j=1}^5 n_j R_j V_{ny} - \\
 & - 2\Omega \sin \varphi V_{nx} - \frac{1}{\rho_n} \frac{\partial P_n}{\partial y} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Здесь  $V_{ny}$  — зональная составляющая скорости зонального ветра;

$\xi$  — кинематическая вязкость нейтрального газа;

$\rho_n$  — плотность нейтрального газа;

$\Omega$  — угловая скорость вращения Земли;

$\varphi$  — географическая широта.

Меридиональная и зональная компоненты градиента давления нейтрального газа

$$\frac{\partial P_n}{\partial x} \text{ и } \frac{\partial P_n}{\partial y}$$

рассчитывается согласно работе [1]. На нижней границе  $s = h_0$  считаем, что  $V_{nx} = V_{ny} = 0$ , на верхней границе  $s = 800$  км задаем нулевые градиенты скоростей.

Высотно-временное распределение  $k$ -й инжектируемой нейтральной компоненты с учетом процессов переноса будем получать как решение уравнения непрерывности

$$\frac{\partial N_k}{\partial t} + \frac{\partial(N_k V_k)}{\partial s} = Q_k - \alpha_k N_k, \quad (10)$$

где  $V_k$  — молекулярная скорость движения частиц  $k$ -й компоненты,  $Q_k$  и  $\alpha_k$  — члены, учитывающие образование и потери частиц в фотохимических реакциях.

Численное решение уравнения (10) проводилось согласно работе [6].

Нестационарные уравнения фотохимического баланса для молекулярных ионов  $O_2^+, NO^+, N_2^+$  записываются в виде

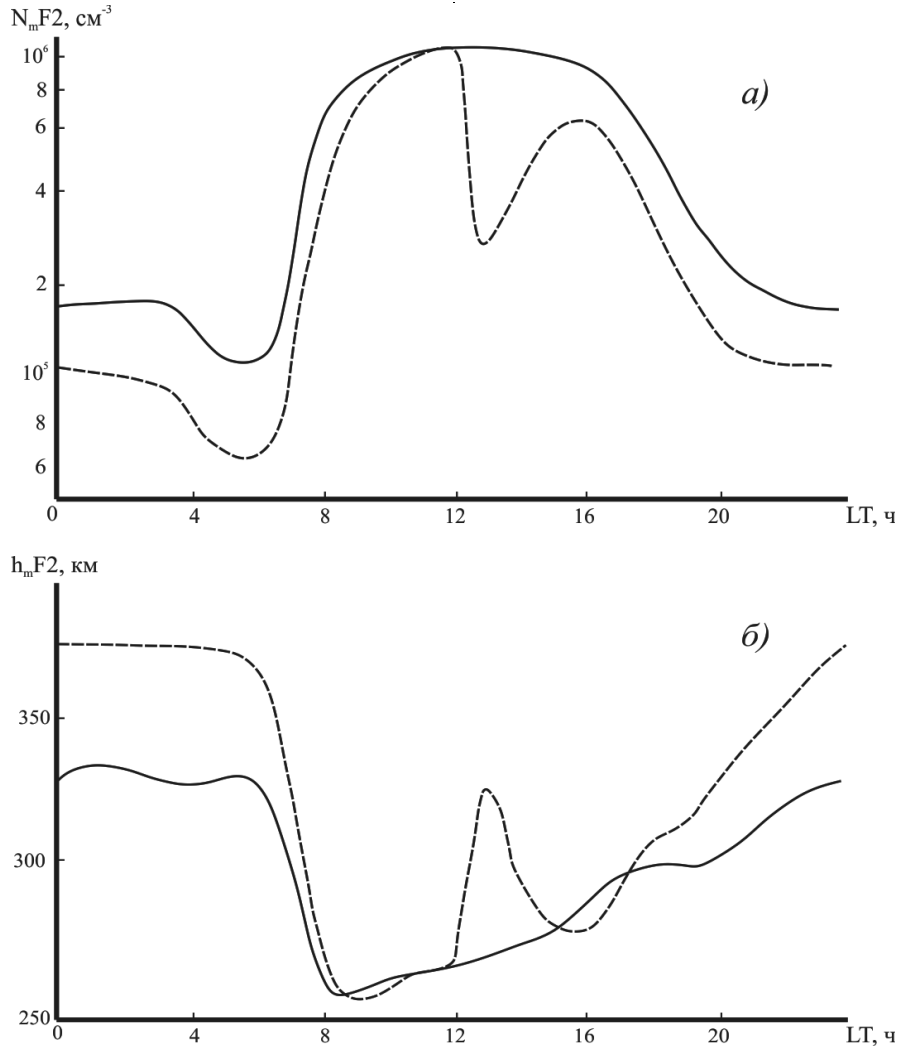


Рис. 1. Суточные вариации максимального значения электронной концентрации  $N_mF2$  в области  $F2$  ионосферы (а) и высоты  $h_mF2$ , на которой находится это максимальное значение (б) (невозмущенные условия — сплошная кривая, с учетом инжектируемой воды — пунктирная кривая).

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = Q_i - \alpha_i n_i, \quad i = 3, 4, 5$$

Численное решение системы уравнений модели проводилось вдоль геомагнитной силовой линии с использованием метода конечных разностей.

Линеаризация разностных уравнений проводилась с использованием значений неизвестных функций, взятых с предыдущего временного слоя, с последующими итерациями по нелинейности и связанности уравнений.

### Результаты численных расчетов

Рассматривалась геомагнитная силовая трубка с параметром Мак-Илвайна  $L = 3$ , основание которой располагалось на высоте  $h_0 = 125$  км.

Расчеты проводились для средней геомагнитной ( $k_p = 3$ ) и солнечной ( $F_{10.7} = 140$ ) активности, зимних условий (36 день от начала года).

В данных расчетах использовалась модель нейтральной атмосферы MSIS [8].

В качестве начальных условий для уравнений физико-математической модели сначала задавались произвольные в допустимых пределах начальные распределения вдоль силовой трубки, от которых проводилось интегрирование до выхода решений на установившейся периодический, суточный режим, соответствующий невозмущенным условиям.

Затем в момент времени  $LT = 12$  ч включалась инжектируемая компонента  $H_2O$ , которая учитывалась при

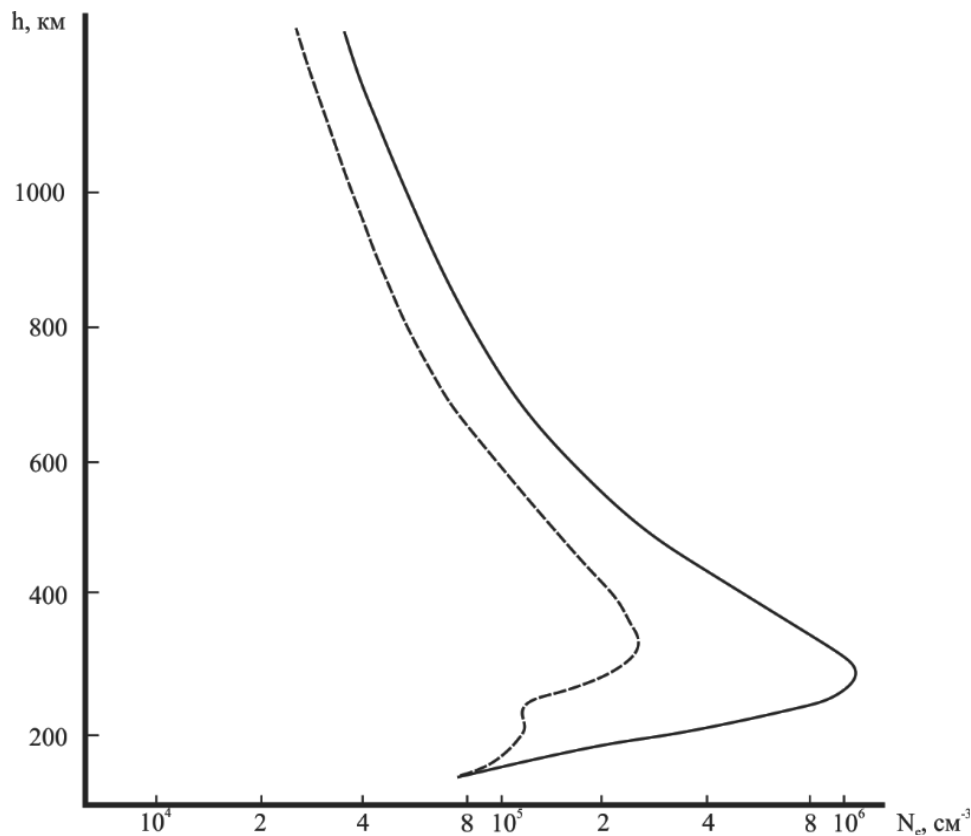


Рис. 2. Высотные профили электронной концентрации для 13 час. Обозначения см. на рис. 1.

решении уравнения диффузии для атомарного водорода.

В качестве начальных условий для  $H_2O$  задавалось барометрическое распределение.

Уравнение диффузии для  $H$  и  $H_2O$  решались в ограниченной области высот  $125 \text{ км} \leq s \leq 800 \text{ км}$ .

На рис. 1 приведены рассчитанные суточные вариации максимального значения электронной концентрации  $N_m F2$  в области  $F2$  ионосферы и высоты  $h_m F2$ , на которой находится это максимальное значение, для невозмущенных условий (сплошная кривая) и с учетом инжектируемой воды (пунктирная кривая).

Выброс воды, начатый в полдень, приводит к резкому уменьшению  $N_m F2$  (примерно в три раза) к моменту  $LT = 13$  ч, что можно объяснить действием  $[H_2O]$  как источника потерь ионов  $O^+$ . Очевидно, что амплитуда выброса зависит от количества инжектируемой воды. На этом же временном интервале  $12 \leq LT \leq 13$  происходит рост  $h_m F2$  — высоты максимума  $n_e$ . Образование ионосферной «дыры», сопровождающееся ростом  $h_m F2$ , подтверждается рис. 2, на котором представлены не-

возмущенный высотный профиль  $N_e$  (сплошная кривая) и профиль для  $LT = 13$  ч (пунктирная кривая).

В дальнейшем в промежуток времени  $13 \leq LT \leq 16$  происходит затягивание ионосферной «дыры» (увеличение  $[n_e]$ , рис. 1, а). Это увеличение  $[n_e]$  можно объяснить уменьшением  $[H_2O]$ . Однако более существенным фактором является изменение потока ионизованных частиц. Как известно, для нормальных условий поток заряженных частиц направлен днем из  $F2$  области в магнитосферу. Образование же ионосферной «дыры» привело к изменению направления потока на противоположное. Данный эффект иллюстрирует рис. 3.

Для нормальных дневных условий поток частиц выше  $F2$  области направлен вверх, то есть положителен, и составляет  $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Для возмущенных условий такой же примерно по величине поток при  $LT = 13$  ч направлен вниз (то есть отрицателен). На рис. 4 показана суточная вариация невозмущенного (сплошная кривая) и с учетом выброса воды (пунктирная кривая) потока плазмы на высоте  $h = 840$  км и наличие во время образования ионосферной дыры отрицательного потока, который приводит в дальнейшем к ее заполнению. Высотные профили температуры электронов для спокойных и воз-

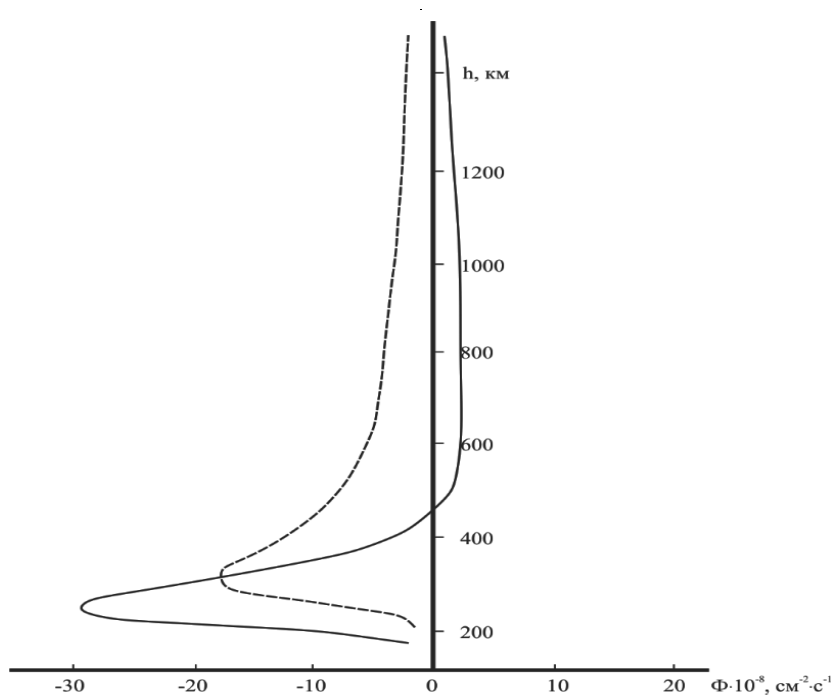


Рис. 3. Высотные профили ионных потоков в северном полушарии для 13 ч. Обозначения см. на рис. 1.

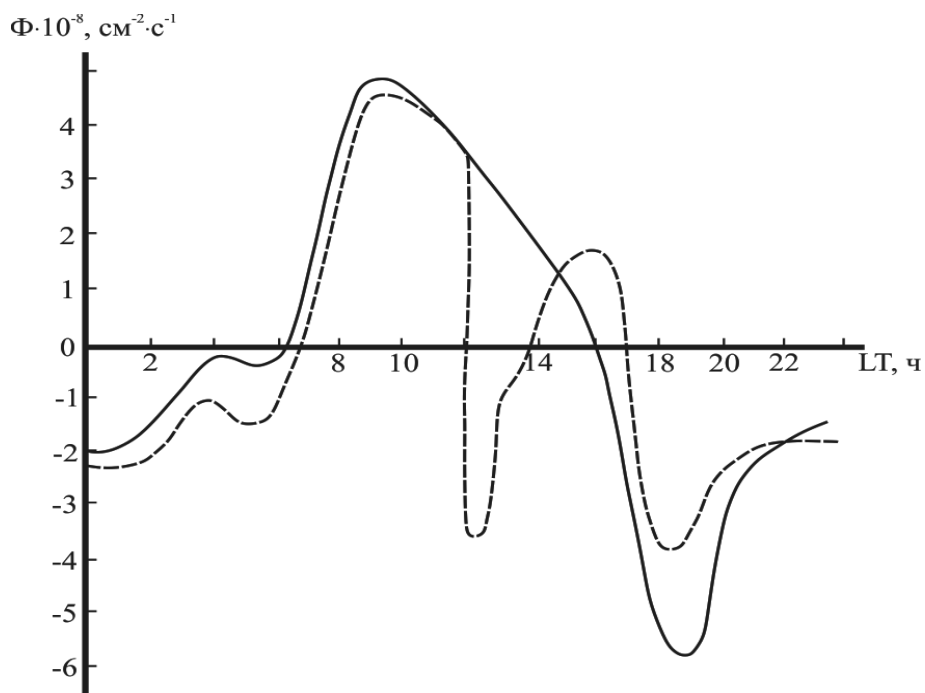


Рис. 4. Временные вариации суммарного ионного потока на высоте 840 км. Обозначения см. на рис. 1.

мущенных условий и  $LT = 13$  ч представлены на рис. 5. Уменьшение электронной концентрации до значений

$N_m F2 = 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$  приводит к росту электронной температуры в  $F2$  области до  $3500^\circ K$ .

### Заключение

Представленная в работе математическая модель позволяет на основе численного решения уравнений непрерывности, движения и теплового баланса много-



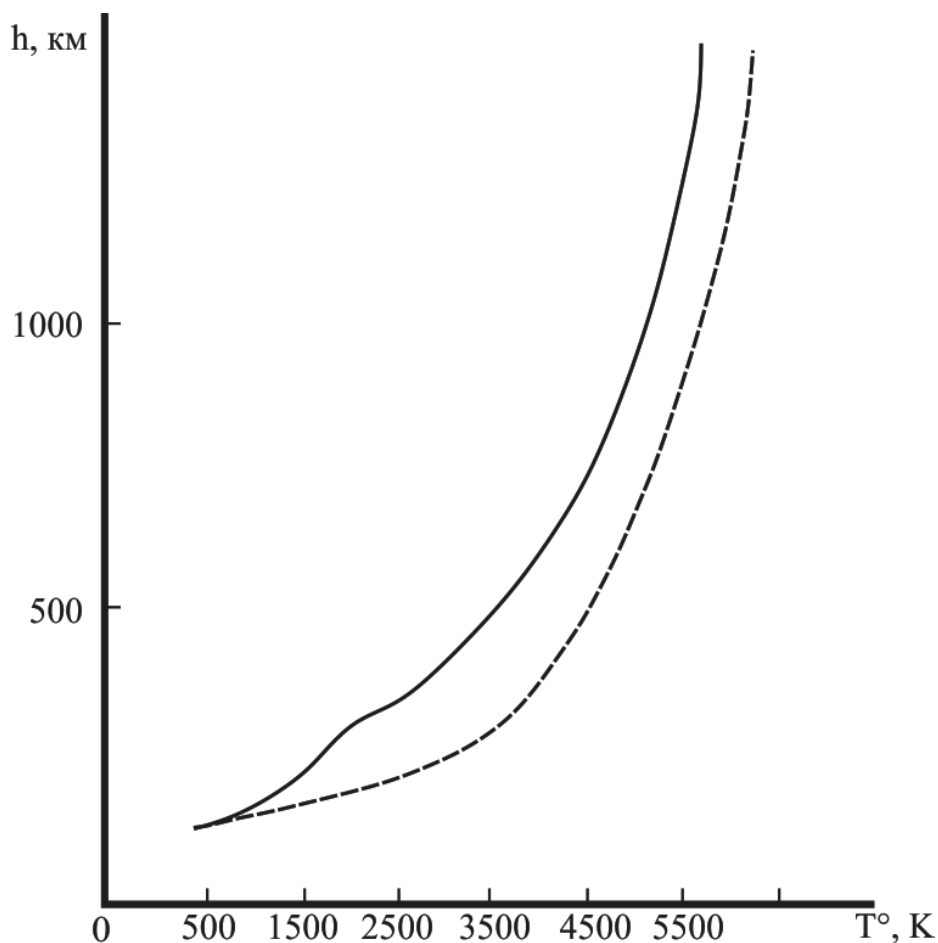


Рис. 5. Высотный профиль электронной температуры для 13 LT. Обозначения см. на рис. 1.

компонентной плазмы, записанных для геомагнитных силовых трубок, исследовать процессы модификации ионосферы при техногенных воздействиях.

Показано, что при выпусках на высотах  $F2$  — слоя ионосферы некоторых химически активных газов происходит перестройка электронной компоненты плазмы,

образования «ионосферных дыр», разогрев плазменных компонент, обмен между плазмосферой и ионосферой потоками заряженных частиц.

Амплитуды изменения параметров ионосферной плазмы зависят как от мощности самого воздействия, так и от расстояния до центра возмущения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Латышев К.С., Зинин Л. В., Ишанов С. А. Математическое моделирование околоземной космической плазмы // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. — 2008. — Т. 7, Ч. 3. — С. 337–349.
2. Тащилин А.В., Романова Е. Б. Численное моделирование диффузии ионосферной плазмы в дипольном геомагнитном поле при наличии поперечного дрейфа // Математическое моделирование. — 2013. — Т. 25, № 1. — С. 3–17.
3. Е.В. Зубков, П. М. Каратаева, К. Ю. Богомолов, Д. А. Савкин, В. Н. Худенко. Численное моделирование ионосферного распространения коротких радиоволн // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов Международной научно-технической конференции Воронеж, 11–13 ноября 2019 г. С. 821–826.
4. Ступицкий Е.Л., Холодов А. С. Физические исследования и математическое моделирование крупномасштабных геофизических экспериментов: Монография // Издательский Дом Интеллект. — 2018.
5. Ишанов С.А., Мацула П. В. Вычислительный эксперимент при моделировании динамики антропогенных возмущений ионосферно-магнитосферной плазмы // Математическое моделирование. — 2012. — Т. 24, № 6. — С. 128–136.

6. Ишанов С.А., Леванов Е. И., Медведев В. В., Залеская В. А. Магнитосферно-ионосферные изменения, вызванные полетами космических аппаратов // Инженерно-физический журнал. Национальная Академия наук Беларуси. — 2006. — Т. 79, № 6. — С. 11–15.
7. Кринберг Н.А., Тащилин А. В. Ионосфера и плазмаосфера. — М.: Наука, 1984.
8. Hedin A.E. MSIS-86 thermospheric model // J. Geophys. Res. — 1987. — Vol. 92, № 5. — P. 4649–4662.

---

© Зубков Евгений Вячеславович ( [evgenyzubkov@mail.ru](mailto:evgenyzubkov@mail.ru) ), Богомолов Константин Юрьевич ( [kst44@mail.ru](mailto:kst44@mail.ru) ),  
Дедков Юрий Викторович ( [yuri.dedkov@gmail.com](mailto:yuri.dedkov@gmail.com) ), Шилова София Олеговна ( [ya.shelby95@ya.ru](mailto:ya.shelby95@ya.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С УПРАВЛЕНИЕМ

### COMPUTER SIMULATION OF THE DYNAMICS OF MULTI- LINK MANIPULATORS WITH CONTROL

**S. Ivanov  
T. Zudilova  
I. Osetrova  
T. Voytyuk**

*Summary.* The problem of mathematical modeling of the dynamics of manipulators with control by means of a software module developed and registered by the authors in functional programming language is considered. A universal software module allows you to build and analyze a model of various types of manipulators up to six degrees of mobility, presented in the form of a system of nonlinear differential equations. The solution of the studied model is constructed by the numerical Runge-Kutta method and the analytical method of polynomial transformations. The paper describes the main blocks of the program on the example of the analysis of a software-controlled manipulator with three degrees of mobility. The software module can be used for engineering analysis of various types of manipulators.

*Keywords:* computer modeling, dynamics of manipulators, analysis of manipulators, software module, mathematical modeling.

**Иванов Сергей Евгеньевич**  
К.ф.-м.н., доцент, НИУ ИТМО (Санкт-Петербург)  
sivanov@mail.ifmo.ru

**Зудилова Татьяна Викторовна**  
К.т.н., доцент, НИУ ИТМО (Санкт-Петербург)  
zudilova@ifmo.spb.ru

**Осетрова Ирина Станиславовна**  
Ст. преподаватель, НИУ ИТМО (Санкт-Петербург)  
irina@ifmo.spb.ru

**Войтюк Татьяна Евгеньевна**  
К.т.н., доцент, НИУ ИТМО (Санкт-Петербург)  
taire2006@yandex.ru

*Аннотация.* Рассматривается задача математического моделирования динамики манипуляторов с управлением посредством разработанной и зарегистрированной авторами программного модуля на языке функционального программирования. Универсальный программный модуль позволяет построить и провести анализ модели различных видов манипуляторов до шести степеней подвижности, представленных в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений. Решение исследуемой модели строится численным методом Рунге-Кутты и аналитическим методом многочленных преобразований. В работе приведено описание основных блоков программы на примере анализа программно-управляемого манипулятора с тремя степенями подвижности. Программный модуль может применяться для инженерного анализа различных видов манипуляторов.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, динамика манипуляторов, анализ манипуляторов, программный модуль, математическое моделирование.

**Р**ассмотрим задачу математического моделирования динамики манипулятора с управлением. На языке функционального программирования разработан и зарегистрирован программный модуль [1] для анализа динамических моделей роботов-манипуляторов до шести степеней подвижности включительно. Программа позволяет построить матричным методом систему уравнений кинематики манипулятора, нелинейную систему дифференциальных уравнений динамики манипулятора, получить решение систем уравнений и построить программные траектории движения манипулятора.

Программный модуль состоит из блоков: сборки уравнений кинематики матричным методом, сборка уравнений динамики посредством матричных уравнений Лагранжа, решение системы уравнений кинематики, решение нелинейной системы дифференциальных уравнений динамики, построение графиков координат,

скоростей, ускорений и траекторий движения манипулятора, блок управления манипулятором.

Решение нелинейной системы дифференциальных уравнений динамики строится численным методом Рунге-Кутты и аналитическим методом преобразований.

Множество современных научных работ посвящено задачам анализа многозвенных манипуляторов. В работах [2–4] исследуется промышленный робот — манипулятор KUKA youBot. В работе [5] проводится математическое и компьютерное моделирование вращающегося манипулятора и четырехколесного мобильного манипулятора. В работе [6] выполняется моделирование роботов-манипуляторов типа «хобот». В отличие от приведенных работ разработанный программный модуль позволяет исследовать различные виды многозвенных манипуляторов.

Рассмотрим блоки программного модуля на примере анализа программно-управляемого трехзвенного манипулятора с тремя степенями подвижности.

Предполагаем, что управляющее воздействие для приводов манипулятора имеет кусочно-гладкую линейную форму и схват манипулятора равномерно движется с постоянной рабочей скоростью.

Кинематическая схема трехзвенного манипулятора состоит из трех вращательных кинематических пар.

В блоке сборки уравнений кинематики матричным методом для описания кинематики вводим три относительные системы координат, связанные с тремя звеньями робота. Абсолютная система координат связана с неподвижным основанием манипулятора. Углы поворотов звеньев манипулятора примем за обобщенные координаты. В блоке определяются матрицы перехода из текущей в последующую систему координат. Для матрицы перехода из абсолютной системы координат в последнюю систему координат для схвата выполняется перемножение всех промежуточных матриц перехода. В результате получаем зависимость абсолютных декартовых координат схвата манипулятора  $x, y, z$  от трех обобщенных координат  $q1, q2, q3$  в форме трех алгебраических равенств.

В блоке решения системы уравнений кинематики выполняется решение системы трех алгебраических уравнений. В результате получаем зависимость трех обобщенных координат  $q1(x, y, z), q2(x, y, z), q3(x, y, z)$  от координат схвата трехзвенного манипулятора.

При условии равномерного движения схвата трехзвенного манипулятора с постоянной рабочей скоростью  $v$  выполняются равенства  $x=v1t, y=v2t, z=v3t$ . Здесь  $v1, v2, v3$  проекции рабочей скорости на оси  $x, y, z$ .

Подставив равенства для равномерного движения в функции обобщенных координат получим зависимость обобщенных координат трехзвенного манипулятора от времени  $t: q1(t), q2(t), q3(t)$ . Продифференцировав по времени функции обобщенных координат, получим обобщенные скорости трехзвенного манипулятора:  $q1'(t), q2'(t), q3'(t)$ . Продифференцировав по времени функции обобщенных скоростей, получим обобщенные ускорения трехзвенного манипулятора:  $q1''(t), q2''(t), q3''(t)$ .

В блоке сборки уравнений динамики посредством матричных уравнений Лагранжа вычисляется суммарная кинетическая и потенциальная энергии всех звеньев манипулятора. Подставив в матричные уравнения Ла-

гранжа, получаем систему уравнений движения манипулятора. В правых частях уравнений Лагранжа содержатся моменты от управляющих сил. Система уравнений динамики трехзвенного манипулятора представлена нелинейной системой дифференциальных уравнений второго порядка вида:

$$\begin{aligned} (a0+a1\cos(q1))q1''+a2q1'q2'\sin(q2)+a3\cos(q1)+a4\cos(q1+q2) &= a5 F1, \\ b0q2''+b1q1'q1'\sin(q2)+b2\cos(q2)+b3\cos(q1+q2)+b4 &= b5 F2, \\ c0q3''+c2q3+c3 &= c4 F3, \end{aligned}$$

где  $F1(t), F2(t), F3(t)$  — функции управляющих сил,  $a_i, b_i, c_i$  — постоянные.

В блоке решения нелинейной системы дифференциальных уравнений динамики выполняется решение численным методом Рунге-Кутты. Для аналитического решения системы нелинейных дифференциальных уравнений применяются различные методы: линеаризации, усреднения, малого параметра, гармонического баланса, методом многочленных преобразований [7]. Методом многочленных преобразований получено аналитическое решение системы дифференциальных уравнений. Для построения аналитического решения вначале проводят нормализацию системы для приведения нелинейных коэффициентов системы к малым величинам.

В блоке управления манипулятором определяются параметры для моментов от управляющих сил в зависимости от обобщенных координат. Управляющее воздействие представляет собой силу, момент создаваемую приводами звеньев. Система управления приводом регулирует момент двигателя. Для управления приводом необходимо найти управляющее воздействие, которое обеспечивает движение манипулятора по заданной траектории. Подставив в систему уравнений движения функции обобщенных координат, скоростей и ускорений, получим функции управляющих сил. Определено управляющее воздействие от приводов в форме линейной функции от времени.

В случае представления управляющего воздействия линейными функциями времени  $F(t)=p1+p2t$ , коэффициенты  $p1, p2$  являются параметрами управления. Для проверки управляющих воздействий приводов при заданных параметрах управления определяется численное решение системы дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты.

В блоке построение графиков координат, скоростей, ускорений и траекторий движения манипулятора выполняется графическое представление результатов, полученных численным и аналитическим методом.

## Заключение

Разработанный универсальный программный модуль позволяет проводить исследования динамики манипуляторов различных кинематических схем со многими степенями подвижности. Исследуемые математические

модели представлены в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений. Решение исследуемой модели строится численным методом Рунге-Кутты и аналитическим методом многочленных преобразований. Программный модуль может применяться для инженерного анализа различных видов манипуляторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С. Е. Программа анализа динамических моделей полиномиальной структуры для манипуляторов // Свидетельство № 2018619899 РФ, 2018
2. Капустина О. М. Анализ сингулярных конфигураций мобильного манипулятора KUKA youBot // Вестник МЭИ. 2019. № 1. С. 93–97.
3. Адамов Б. И., Капустина О. М., Меркурьев И. В., Панкратьева Г. В. Кинематика, динамика и управление движением мобильного робота-манипулятора KUKA youBot. — Изд-во МЭИ Москва, 2018. — 72 с.
4. Капустина О. М. Манипулятивность робота KUKA youBot и планирование его движений // Extreme Robotics. — 2018. — Т. 1. — № 1. С. 286–301.
5. Красинский А. Я. Математическое и компьютерное моделирование манипуляторов с нелинейной геометрической связью // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2018. — № 4 (76).
6. Каганов Ю. Т., Карпенко А. П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора, как механизма параллельной кинематики типа «трипод» // Машиностроение и компьютерные технологии. — 2009. — № 10.
7. Melnikov G. I. Mathematical models of nonlinear oscillations of mechanical systems with several degrees of freedom // Nonlinear Dynamics and Systems Theory, IET — 2017. — Vol. 17. — No. 4. — p. 369–375

© Иванов Сергей Евгеньевич (sivanov@mail.ifmo.ru), Зудилова Татьяна Викторовна (zudilova@ifmo.spb.ru),  
Осетрова Ирина Станиславовна (irina@ifmo.spb.ru), Войтюк Татьяна Евгеньевна (taire2006@yandex.ru).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



НИУ ИТМО

# АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

## AUTOMATED CONFIGURATION OF THE SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM GROUND STATIONS SOFTWARE

**N. Ignatov  
N. Sechkina**

*Summary.* The article is devoted to the automating software configuration for deploy to customer facilities in the rocket and space industry of the Russian Federation. An overview of existing configuration management tools is provided. Automated software configuration method is proposed within the existing enterprise infrastructure. A software system has been developed that implements the proposed approach. The scientific novelty of the study consists in the possibility of transferring and subsequent operation of the configuration system on various software platforms, including specialized military operating systems for the Russian Federation.

*Keywords:* software configuration, ground station, operating facility, configuration parameters, configuration template, continuous integration server.

**Игнатов Николай Анатольевич**

*К.т.н., доцент, Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)  
nick\_ignatov@mail.ru*

**Сечкина Наталья Сергеевна**

*Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет); инженер, АО «Научно-  
исследовательский институт точных приборов»  
(г. Москва)  
sechkina.natali@yandex.ru*

*Аннотация.* Статья посвящена вопросам автоматизации конфигурирования программного обеспечения при поставке на объекты заказчика в ракетно-космической отрасли Российской Федерации. Проводится обзор существующих средств конфигурационного управления. Предложен метод конфигурирования программного обеспечения в рамках существующей инфраструктуры предприятия. Разработана программная система, реализующая предложенный подход. Научная новизна исследования состоит в возможности переноса и последующей работы системы конфигурирования на различных программных платформах, в том числе в специализированных операционных системах военного назначения для Российской Федерации.

*Ключевые слова:* конфигурация программного обеспечения, наземная станция, объект эксплуатации, конфигурационные параметры, шаблон конфигурации, сервер непрерывной интеграции.

## Введение

Современные программные системы, разрабатываемые для нужд ракетно-космической отрасли Российской Федерации, характеризуются повышенной степенью сложности, обусловленной высокой наукоемкостью программного обеспечения. Для сохранения лидирующих позиций в области создания программных продуктов в ракетно-космической промышленности необходимо разрабатывать, непрерывно совершенствовать и поставлять в кратчайшие сроки надежные и качественные программные системы, способные удовлетворить потребности заказчика. Проблемы конфигурации таких программных продуктов выходят на первый план.

Конфигурация программного обеспечения — совокупность настроек задаваемая пользователем [1, с.90]. Автоматизация конфигурирования программного обеспечения проводилась на примере деятельности АО «НИИ ТП». В настоящее время конфигурированием программных систем в подразделении АО «НИИ ТП» занимается уполномоченное лицо, которое выполняет настройку каждого программного компонента для отдельной ЭВМ на объекте заказчика в ручном режиме. Отсутствие автоматизации увеличивает время развертывания программного обеспечения: затрачивается время на поиск и устранения ошибок конфигурирования, а также на редактирование параметров во множестве конфигурационных файлов [1, с.90]. Такой неавтоматизированный процесс снижает качество программного



Рис. 1. Схема работы системы управления конфигурациями

продукта, увеличивает время поставки и снижает его надежность, что в общем случае критично для систем военного назначения.

#### Постановка задачи

##### Дано:

Программный комплекс конфигурируется и развертывается на территориально-распределенных наземных станциях с ЭВМ. Программный комплекс состоит из программных компонент. Каждый программный компонент имеет конфигурационных параметров в конфигурационных файлах, где  $i \in j, i = \overline{1, K}; j = \overline{1, L}$ .

##### Требуется:

Автоматизировать процесс задания конфигурационных параметров программных компонент для различных объектов эксплуатации (территориально-распределенных наземных станций) в конфигурационных файлах.

#### Обзор существующих средств управления конфигурацией

На данный момент существует несколько готовых систем, способных автоматизировано настраивать и поставлять программное обеспечение, к ним относятся CFEngine, SaltStack, Chef, Puppet и Ansible. Общая схема работы перечисленных инструментов представлена на рисунке 1.

В центральном хранилище расположены инструкции, в которых содержится описание того, что необходимо сделать на узле, например: установить и настроить определенное программное обеспечение, запустить службу, выполнить удаление библиотеки, изменить конфигурационные параметры программных компонент. Эти инструкции переводятся на узел трансляции, после

чего они передаются (или забираются) на управляемые узлы и превращаются в набор исполняемых команд при помощи компонента внедрения [2].

При анализе данных систем выявлено, что перечисленные средства конфигурационного управления не являются полностью кроссплатформенными и не поддерживают российскую операционную систему MCBCS, эксплуатируемую на объектах поставки. В связи с этим использовать перечисленные системы непосредственно на наземной станции невозможно. Кроме того, основной принцип работы этих средств — использование стратегии непрерывной поставки программного обеспечения. Таким образом, при использовании систем управления конфигурацией переход между процессами компиляции, сборки, конфигурирования, тестирования и развертывания является непрерывным. На объектах военного назначения, где используется защищенное сетевое соединение, удаленное использование этих средств конфигурационного управления невозможно. Поэтому возникает необходимость в создании собственной кроссплатформенной системы конфигурирования и развертывания ПО для предприятия и обслуживаемых им объектов [3, с. 114].

#### Принцип работы программы конфигурирования

Предлагаемый метод конфигурирования программной системы основан на применении шаблонов конфигурации. Шаблон представляет собой размеченный по определенным правилам файл, в котором используются переменные, функции, условия и циклы. Конфигурационные шаблоны имеют то же расширение, что и конфигурационные файлы — это \*.xml, \*.reg, \*.ini и \*.conf. Примеры конфигурационных шаблонов представлены на рисунке 2 (XML формат) и на рисунке 3 (файл реестра Windows).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<config>
  <key name="DB">
    <key name="Server" value="{$.get("db_name")}"/>
    <key name="User" value="{$.get("user_name")}"/>
    <key name="Password" value="{$.get("pass")}"/>
  </key>
  <key name="General">
    <key name="Templates" {if ($.flag("CONF_GONEC")) 'value="tpl_gonec.xml"/>; else if ($.flag("CONF_RODNIK")) 'value="tpl_rodnik.xml"/>;}
    <link name="PZEditor" to="Editors/1"/>
  </key>
  <key name="Editors">
    <key name="1" value="plz"/>
  </key>
</config>
```

Рис. 2. Пример шаблона для файла формата XML

```
Windows Registry Editor Version 5.00

[HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\NIITP\event]
"User"="{$.get("user_name")}"
>Password="{$.get("pass")}"
'DBName'="{$.get("db_name")}"
"Interval"="60"
"MaxNumber"="1000"
"NumPK"="1"
"TypePK"="2"
"Priority"="1"
"Width"="654"
"Height"="294"
"X"="291"
"Y"="288"
"NS"="10"
```

Рис. 3. Пример шаблона для файла формата REG

В этих шаблонах вместо заранее заданных значений ключей настроек используются переменные, заключенные в специальные разделители вида: “{}”. Программа конфигурирования (далее «Конфигуратор») разработана на языке программирования C++ с использованием межплатформенной библиотеки Qt версии 4.8.6. В качестве интерпретатора языка шаблонов в программе используется QtScript, базирующийся на стандарте ECMA-262 (так же известном как JavaScript 2.0 или Jscript.NET).

В приведенных примерах используется функция get с аргументом — именем переменной, значение которой хранится в базе данных проектов отдела разработки ПО АО «НИИ ТП». Данная функция определена в программном коде Конфигуратора на языке C++ и вызывается в шаблоне при его обработке интерпретатором QtScript. Прототип этой функции следующий:

```
QString get (const QString& val);
```

Функция get возвращает значение типа QString, которое представляет собой значение переменной val, извлеченное из базы данных для заданного объекта эксплуатации.

В шаблоне, представленном на рисунке 2, также используется конструкция ветвления типа if...else для выбора между двумя альтернативами — значениями ключа «Templates». Функция flag предназначена для проверки наличия настроек соответствующей наземной станции в базе данных проектов и также определена в программном коде Конфигуратора на языке C++.

Прототип этой функции следующий:

```
bool flag (const QString& val);
```

В приведенном примере в функцию передается значение переменной val равное «CONF\_GONEC» и «CONF\_RODNIK». В случае если на наземной станции установ-



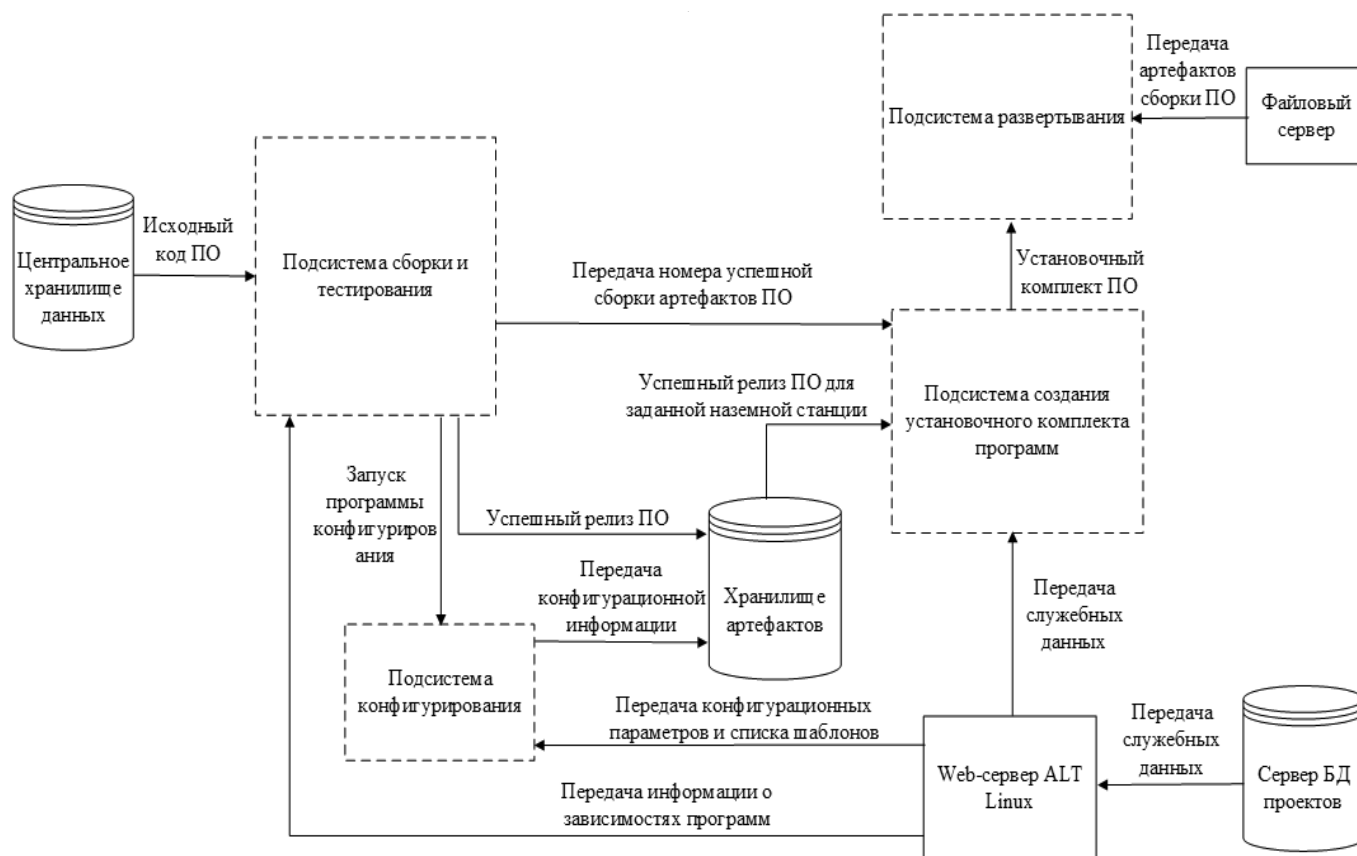


Рис. 4. Общая схема функционирования системы конфигурирования

лена настройка «CONF\_GONEC», то будет использовано значение ключа «Templates» равное «tpl\_gonex.xml», если же на наземной станции установлена конфигурация CONF\_RODNIK, то значение ключа «Templates» будет равно «tpl\_rodnik.xml».

Описанные выше функции являются методами объекта \$, который представляет собой объект сценария, зарегистрированный в коде программы конфигурирования.

Общая схема работы системы конфигурирования в рамках существующей инфраструктуры предприятия представлена на рисунке 4.

При фиксации изменений программистом в ветке разработки происходит запуск сборки программной системы на сервере непрерывной интеграции (в качестве сервера непрерывной интеграции используется Jenkins). Ведущий сервер сборки извлекает из хранилища системы управления версиями исходный код программной системы для сборки, а также шаблоны конфигурации, предварительно созданные разработчиком и помещенные в центральное хранилище системы управления версиями. Машина сборки также извлекает

из базы данных проектов информацию о зависимостях программ. На этапе сборки на сборочной машине функционирует программа конфигурирования, настроенная на работу в качестве шага сборки сервера непрерывной интеграции.

В файле настроек Конфигуратора задается адрес web-сервера, с помощью API которого взаимодействует программа конфигурирования и база данных проектов. Номер объекта, для которого конфигурируется программная система, передается Конфигуратору в качестве переменной окружения. Этот номер необходим для извлечения конфигурационных параметров и списка шаблонов конфигурации из базы данных проектов для определенного объекта эксплуатации. Алгоритм работы системы конфигурирования представлен на рисунке 5 в виде UML-диаграммы активностей.

На выходе Конфигуратор генерирует из шаблонов конфигурационные файлы, которые включаются в архив (инсталляционный комплект) программной системы вместе с набором программ и служебной информацией. Далее установочный комплект доставляется уполномоченными органами на файловый сервер наземной станции, где происходит непосредственная установка

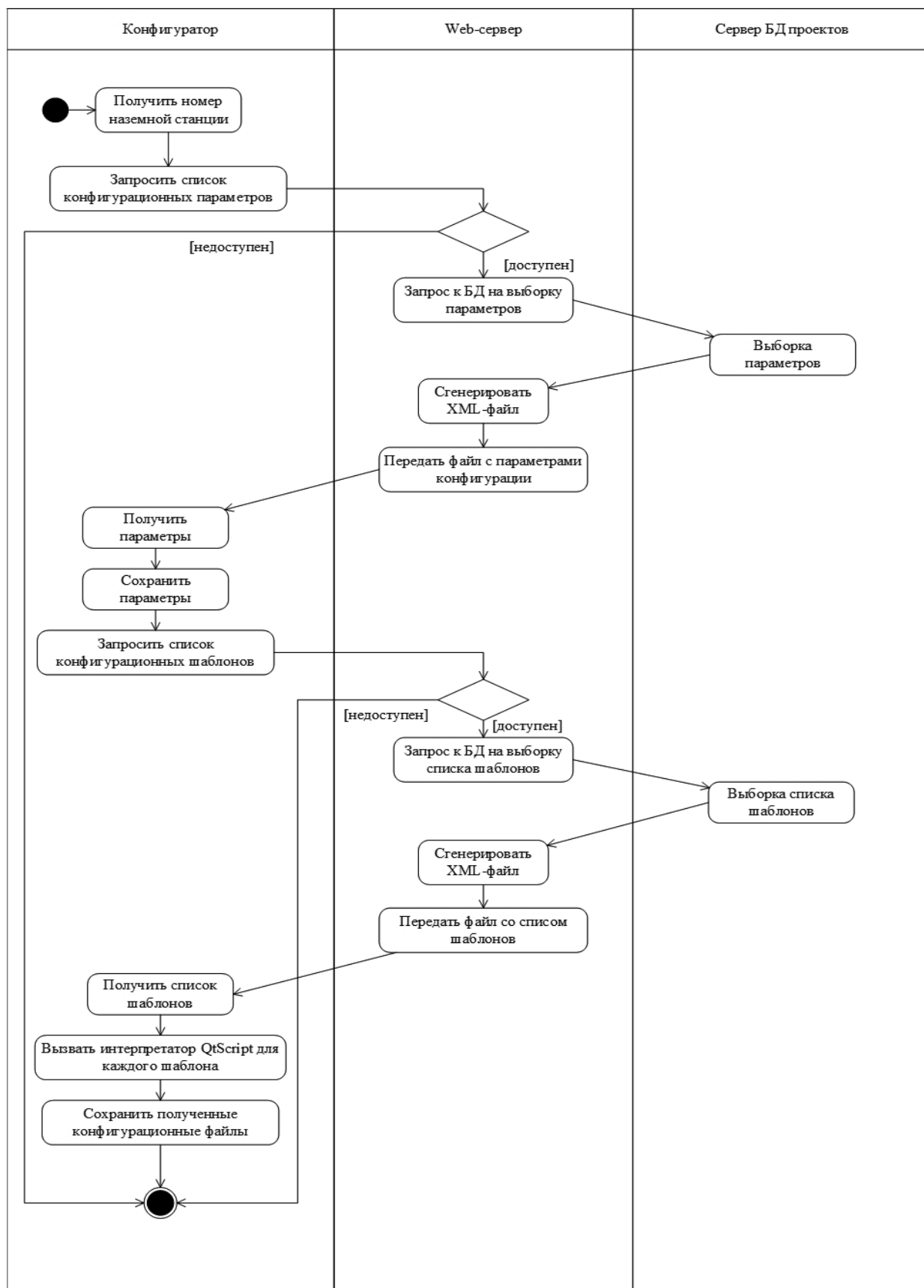


Рис. 5. Алгоритм работы системы конфигурирования

Таблица 1. Результаты применения системы развертывания

Действие	Ручное время развертывания (чч: мм: сс)	Время автоматизированного развертывания (чч: мм: сс)
Установка конфигурационных данных программной системы на вычислительные узлы наземной станции	02:30:44	00:05:08
Установка артефактов сборки ПО на вычислительные узлы наземной станции по рабочим директориям	01:20:33	00:00:09
Установка и запуск необходимых служб на вычислительных узлах наземной станции	00:08:46	00:00:05
Итого	04:00:03	00:05:22

программ и их конфигурации на узлы объекта системой развертывания в автоматизированном режиме, разработанной в подразделении АО «НИИ ТП» (подсистема развертывания).

#### Анализ результатов применения системы развертывания

Анализ результатов применения системы развертывания проводился на основе следующей выборки:

Количество конфигурационных файлов: 95 файлов;  
количество артефактов сборки ПО: 305 файлов;  
количество служб: 5 файлов.

Результаты применения системы развертывания представлены в таблице 1.

В таблице показано среднее время, затрачиваемое на развертывание программной системы в ручном и автоматизированном режимах. Ручное время развертывания указано в случае работы одного специалиста отдела эксплуатации программного обеспечения по установке

и настройке программной системы для одной наземной станции. Проанализировав таблицу представленную выше, можно увидеть, что в случае применения системы развертывания на объекте эксплуатации удалось сократить время установки и настройки программного комплекса с 4 часов в ручном режиме до 5 минут в случае применения системы автоматизации.

#### Заключение

При изучении существующих средств конфигурационного управления выявлено, что их использование на объектах военного назначения невозможно. В связи с этим разработана собственная программная система конфигурирования, которая является кроссплатформенной и легко внедряется в существующую инфраструктуру предприятия. Использование системы конфигурирование позволило снизить административные расходы при поставке программной системы на наземные станции, уменьшить ее время развертывания и сократить количество конфигурационных ошибок программных компонент.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 18-я Международная конференция «Авиация и космонавтика — 2019» (Москва, МАИ, 18–22 ноября 2019 г.): тезисы / (Московский авиационный институт). Москва: Логотип, 2019. 605 с.
- Житинский С., Чистяков А. Системы управления конфигурацией. Чем отличаются Chef, SaltStack, Puppet, CFEngine и Ansible? // Системный администратор. 2014. № 6(139). С. 35–39.
- Восьмая Всероссийская научно-техническая конференция «Безопасные информационные технологии» (Москва, 6–7 декабря 2017 г.): сборник трудов конференции / под общ. ред. М. А. Басараба. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 541 с.

4. Амиров А.Ж., Герхардт Э., Хон М. В. Особенности процесса развертывания программного обеспечения в условиях интенсивной разработки // Молодой ученый. 2016. № 9(113). С. 44–47.
5. Воробьев О.А., Павлов Л. С. Автоматизация развертывания компонент распределенного приложения современными средствами управления конфигурацией. // Молодой ученый. 2016. № 13(117). С. 306–311.
6. Брусакова И.А., Раимова С. Т. Система конфигурационного управления — инновационный инструмент сопровождения процесса разработки программного обеспечения (ПО) в авиационной промышленности // Инновации. № 8 (142). С. 96–100.
7. Хамбл Д., Фарли Д. Непрерывное развертывание ПО: автоматизация процессов сборки, тестирования и внедрения новых версий программ.: Пер. с англ. — М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2011. — 432 с.
8. Уайт Б. А. Управление конфигурацией программных средств. Практическое руководство по Rational ClearCase: Пер. с англ. — М.: ДМК Пресс, 200. — 272 с.
9. Липаев, В. В. Программная инженерия. Методологические основы: Учеб. / В. В. Липаев; Гос. ун-т — Высшая школа экономики. — М.: ТЕИС, 2006. — 608 с.
10. Вольф Э. Continuous delivery. Практика непрерывных апдейтов. — СПб.: Питер, 2018. — 320 с.

© Игнатов Николай Анатольевич ( nick\_ignatov@mail.ru ), Сечкина Наталья Сергеевна ( sechkina.natali@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский авиационный институт

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОСЕРИЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

### ANALYSIS OF THE PROCESSES FOR PREPARING THE PRODUCTION OF SMALL PRODUCTION ENTERPRISES

**A. Lazareva  
A. Ryabov  
M. Shamatov**

*Summary.* The article presents an analysis of the results of a study of the structure and characteristics of the input flows of documents of a small-scale production enterprise with continuously incoming changes in the design and technological documentation. The results are used to build a production management system.

*Keywords:* enterprise information systems, integration, Poisson flow, Abbe-Linnik criterion.

**Лазарева Антонина Борисовна**

К.т.н., доцент, Арзамасский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»

*lazareva@apingt.u.edu.ru*

**Рябов Антон Владимирович**

К.т.н., доцент, Арзамасский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»

**Шаматов Максим Вячеславович**

Арзамасский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»

*Аннотация.* В статье представлен анализ результатов исследования структуры и характеристик входных потоков документов мелкосерийного производственного предприятия при непрерывно поступающих изменениях в конструкторской и технологической документациях. Приведенные результаты использованы при построении системы управления производством.

*Ключевые слова:* информационные системы предприятия, интеграция, пуассоновский поток, критерий Аббе-Линника.

**В** сокращении сроков и затрат на разработку и выпуск мелкосерийной продукции важной составляющей является скорость проведения изменений конструкторской документации. Выделяют три основных причины частых изменений:

- ◆ модификация изделий;
- ◆ замены комплектующих материалов;
- ◆ длительность проведения закупочных процедур.

Следовательно, важно обеспечить надежное управление всем объемом конструкторской документации, которая создается, хранится и используются в различных информационных системах предприятия.

В [1] предлагается сопряжение двух российских информационных систем: PDM-системы «T-Flex Docs» и ERP-системы «1С: Управление производственным предприятием» (рисунок 1).

Для создания модуля программной интеграции между системами «T-Flex Docs» и «1С: Управление производственным предприятием», необходимо, прежде всего, выполнить статистический анализ входных потоков данных.

Был выполнен сбор статистических данных об изменениях входных потоков документов. Доказано, что

Таблица 1.

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Число изменений	319	269	307	227	275	267	195	254	273	294	294	300



Рис. 1.

поток является пуассоновским, т.е. он обладает тремя свойствами [2]: стационарность, ординарность, отсутствие последствия.

Стационарность характеризуется независимостью плотности вероятности от начала отсчета времени. То есть, если взять на временной оси  $n$  непересекающихся интервалов длиной  $\Delta_i, i = \overline{1, n}$ . Обозначим  $\eta_i$  число событий, приходящихся на интервал  $\Delta_i$ . Тогда

$$P\{\eta_i = k\}, k \geq 0, i = \overline{1, n}.$$

Поток входных документов, в которых были выполнены изменения, анализировался в течение трех лет.

В таблице 1 представлен анализируемый ряд изменений в потоках документов за год.

Для установления закона распределения входного потока документов строилась гистограмма [5]. Это инструмент, который позволяет оценить распределение статистических данных, сгруппированных по частоте попадания данных в некоторые заранее установленные интервалы. Проверка гипотезы нормальности распределения по критерию согласия Колмогорова позволила сделать вывод о том, что эмпирическое распределение входного потока документов подчиняется нормальному закону. Это позволяет использовать для анализа стационарности использовать критерий Аббе-Линника [4].

Критерий Аббе-Линника

Анализируемый ряд

Январь	319
Февраль	269
Март	307
Апрель	227
Май	275
Июнь	267
Июль	195
Август	254
Сентябрь	273
Октябрь	294
Ноябрь	294
Декабрь	300

Критическое значение Критерия Аббе-Линника при n=12  
(доверительная вероятность 0,95) 0,5636

Математическое ожидание Вычислить

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

272,833333

Значение критерия Аббе-Линника: Вычислить

$$q = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

0,82279809

Сравнить с критическим значением

Поток стационарный

Рис. 2.

Проверяется нулевая гипотеза о том, что все выборочные значения принадлежат одной генеральной совокупности со средним

$$\mu: (H_0: \mu_i = \mu, i = 1, 2, \dots, n).$$

Статистика критерия Аббе-Линника имеет вид:

$$q = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Если  $q > q_0$  то нулевая гипотеза случайности ряда  $x_1, \dots, x_n$  отклоняется с доверительной вероятностью  $\alpha$  (доверительная вероятность  $\alpha$  и критические значения  $q_0$  критерия Аббе-Линника приведены в таблице [3]).

Для выполнения расчетов в среде программирования Visual C++ создано приложение Widows Forms.

На рисунке 2 представлена форма для анализа стационарности изменений в потоках документов за год (таблица 1).

Вычисленное значение критерия Аббе-Линника  $q = 0,822798$ .  $q > q_0$ , следовательно, можно сделать вывод о стационарности потока, то есть ежемесячно он в течение года меняется незначительно.

В [6] приведено определение потока без последствия. Смысл этого определения заключается в том, что наступление событий на каком-то интервале не зависит от того, сколько событий появилось на других интервалах. В исследуемом потоке последствие отсутствует.

Ординарность предполагает бесконечно малую вероятность поступления более одного события за бесконечно малый отрезок времени. Это свойство присуще потоку рассматриваемых документов, так как вероятность поступления более одного документа в один момент времени очень мала.

Для реализации двустороннего обмена конструкторско-технологической информацией между двумя системами используется общую промежуточную базу данных на основе СУБД MS SQL Server [7]. В PDM-системе выполняется разработка и согласование, а в ERP-системе запуск изделий в производство, последующая поддержка и аннулирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилина, С. Б. Автоматизация процесса информационного обеспечения производства приборостроительного предприятия комплектующими изделиями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2016. — т. 18, № 4(7). — С. 1372–1380.
2. Назаров А. А., Терпугов А. Ф. Теория массового обслуживания: учебное пособие. — 2-е изд., испр. — Томск: Изд-во НТЛ. 2010. — 228 с.
3. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 416 с.
4. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Физматлит, 1958. 336 с.
5. Лазарева А. Б., Эварт Т. Е., Глухова А. Ф. Объектно-ориентированное программирование. Использование Windows Forms при решении инженерных задач: учеб. пособие — Нижегород. гос. тех. ун-т им. П. Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2017. — 94 с.
6. Кингман Дж. Пуассоновские процессы. — М.: МЦНМО, 2007. — 136 с.
7. Роберт Э. Уолтерс, Майкл Коулс. SQL Server 2008: ускоренный курс для профессионалов = Accelerated SQL Server 2008. — М.: «Вильямс», 2008. — С. 768.

© Лазарева Антонина Борисовна (lazareva@arngtu.edu.ru), Рябов Антон Владимирович, Шаматов Максим Вячеславович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Арзамас



# МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА, УЧИТЫВАЮЩАЯ КОМПЛЕКСНЫЙ ХАРАКТЕР ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

A MODEL FOR PREDICTING THE STATE OF ELEMENTS OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORK USING THE LOGICAL-PROBABILISTIC METHOD, TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLEX NATURE OF THE DESTRUCTIVE IMPACT

**M. Pylinsky**  
**M. Latushko**  
**N. Tereshkin**  
**E. Samokhin**  
**S. Krivtsov**

*Summary.* The article presents a model for predicting the state of elements and structures of a special-purpose communication network, characterized in that the approach to modeling the destructive impact is based on the quasistationary effect of the process by stage on the elements (objects) of the network with variable intensity in a complex, heterogeneous and multilevel form, including using the logical-probabilistic method, which allows assessing the structural-probabilistic parameters of the process of functioning of the special-purpose communication network and its elements.

*Keywords:* communication network, communication node, model, stability, structure.

**Пылинский Максим Валерьевич**

К.в.н., ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
pylinskii.maksim@mail.ru

**Латушко Максим Михайлович**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
maxconi81@gmail.ru

**Терешкин Николай Михайлович**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
Mihalych08pskov@mail.ru

**Самохин Евгений Сергеевич**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
evgenysamohin2006@rambler.ru

**Кривцов Станислав Петрович**

Старший преподаватель, ФГКВУ ВО «Военная  
академия связи им. Маршала Советского  
Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
staskriv@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлена модель прогнозирования состояний элементов и структур сети связи специального назначения, отличающаяся тем, что подход к моделированию деструктивного воздействия основан на квазистационарности процесса воздействия по этапам на элементы (объекты) сети с переменной интенсивностью в комплексном, разнородном и разноразном виде, в том числе с применением логико-вероятностного метода, что позволяет производить оценку структурно-вероятностных параметров процесса функционирования сети связи специального назначения и ее элементов.

*Ключевые слова:* сеть связи, узел связи, модель, устойчивость, структура.

**Н**значение модели — стохастическая, дискретная модель невосстанавливаемых систем для прогнозирования последствий квазистационарного процесса деструктивных воздействий по элементам (объектам) сети связи специального назначения (СС СН) по этапам функционирования.

В модели учитываются четыре класса объектов (элементов) СС СН: элементы (объекты) полевых (стационарных) узлов связи (УС) пунктов управления (ПУ); элементы (объекты) полевых (стационарных) опорных (транспортных) сетей связи министерств и ведомств; объекты (элементы) территориальной сети связи (ТСС); объекты

(элементы) сети связи общего пользования (ССОП). В соответствии с этим структура модели представляет собой четыре взаимосвязанных, достаточно самостоятельных функциональных блока частных моделей. Для примера далее рассмотрено моделирование УС ПУ.

В ходе моделирования по разработанным алгоритмам производится расчет вероятности поражения элементов (объектов) УС и УС в целом (по направлениям связи в СС СН на разных организационных уровнях). Причем весь период функционирования разбит на временные интервалы (этапы) (в соответствии с выполняемыми задачами). Расчет вероятности поражения элементов (объектов) УС и УС в целом осуществляется для каждого критически важного элемента (объекта), подвергнутого воздействию, и на этой основе прогнозируется вероятное снижение устойчивости УС, направления связи (НС) ими образованных и всей СС СН.

Исходные данные, необходимые для моделирования воздействия по элементам (объектам) СС СН, подразделяются на стационарные и переменные. Особенностью подготовки стационарных исходных данных для прогнозирования состояний элементов (объектов) СС СН является вариативность их назначения: элементы (объекты) полевых (стационарных) УС ПУ; элементы (объекты) полевых (стационарных) опорных (транспортных) сетей связи министерств и ведомств; объекты (элементы) ТСС; объекты (элементы) ССОП. Различное назначение элементов проявляется, прежде всего, в различных показателях пропускной способности, на создаваемых линиях связи различными родами связи, структурной устойчивости сети. Стационарные исходные данные отражают общие характеристики элементов (объектов) СС СН их линейные (площадные) размеры, емкость линий каналов связи, нормативные параметры (как правило, директивные значения оперативности выполнения тех или иных мероприятий).

Особенностью подготовки переменных исходных данных для моделирования является то, что они могут существенно изменяться с целью обеспечения требуемых качеств и оперативности принимаемых решений по защите элементов и изменению структуры СС СН. Перечень критически важных элементов (объектов) СС СН (по направлениям связи) является основными данными для моделирования и формируется заблаговременно. При этом критически важные элементы (объекты) СС СН группируются: по территории; по направлениям связи; по приоритетам (важности). Количество применяемых противником средств воздействия, их комплексирование на квазистационарных промежутках времени и, следовательно, количество пораженных элементов (объектов) СС СН являются основными переменными данными моделирования (т.е. изменяемыми в процес-

се моделирования, с целью нахождения рациональных решений и получения достоверных результатов). К переменным исходным данным относятся: сведения о возможных деструктивных воздействиях (противника, природные бедствия и техногенные катастрофы), определяющих, прежде всего, количество объектов (элементов) СС СН, которые, предположительно, могут быть поражены; показатели важности (приоритеты) объектов СС СН; конкретный перечень пораженных объектов СС СН.

Наиболее важным переменным показателем является первый — количество средств поражения противника, достигших цели. Достаточно очевидно существование бесконечного множества сценариев моделирования, в зависимости от различных значений этого параметра. Большое значение имеет также относительная плотность распределения средств поражения по операционным направлениям, оказывающая решающее влияние на последующие возможности войск по проведению операций (боевых действий).

По результатам моделирования для заданных исходных данных осуществляется прогноз:  $P_{ж} nlk(t)$  — вероятность выживания  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе.

Вероятность  $P_{ж} nlk(t)$  выживания  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов рассчитывается с применением общего логико-вероятностного метода [2, 3] как вероятность сохранения минимальной топологической связности между абонентским терминалом пользователя и узлом связи корреспондента.

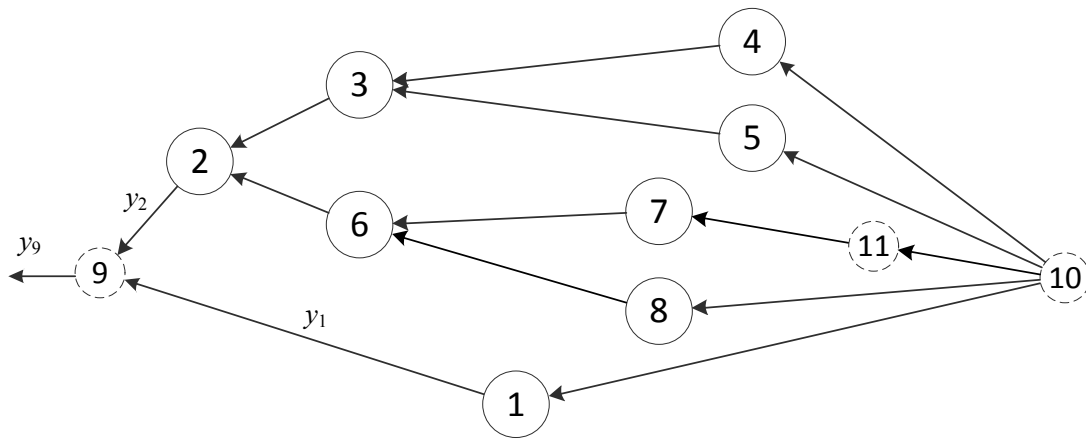
Схема функциональной целостности в виде ориентированного графа для типового варианта построения УС ПУ изображена на рисунке 1. Вершинами графа приняты элементы УС. Фиктивными вершинами в схеме функциональной целостности обозначены абонентский терминал пользователя, ССОП и УС корреспондента. Каждой фиктивной вершине соответствует условное логически достоверное событие, вероятность которого равна единице.

Логическими критериями целостности для представленной схемы являются условия:

$$y_9 = y_1 \vee y_2, \tag{1}$$

$$\bar{y}_9 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2. \tag{2}$$

Истинность логического критерия целостности (1) достигается при наличии потока сообщений на выходе хотя бы одной из вершин — 1 или 2 и свидетельствует о работоспособном состоянии УС. Логическое выраже-



- 1 – средства прямой связи;
- 2 – оборудование абонентского доступа;
- 3, 6 – коммутационное оборудование;
- 4, 5, 7, 8 – оборудование доступа к опорной (транспортной) сети;
- 9 – абонентский терминал пользователя;
- 10 – УС корреспондента;
- 11 – ССОП.

Рис. 1. Схема функциональной целостности УС ПУ

ние (1) истинно при одновременном отсутствии потоков сообщений из вершин 1 и 2 и является условием неработоспособного состояния УС.

Раскрывая логический критерий целостности (1) по схеме функциональной целостности, получаем логическую функцию работоспособности схемы узла связи:

$$y_9 = 1 \vee 2 \cdot (3 \cdot (4 \vee 5) \vee 6 \cdot (7 \vee 8)). \quad (3)$$

Применяя к (3) правила де Моргана, получаем бесповторную форму логической функции в базисе конъюнкция-отрицание:

$$y_9 = \overline{1} \cdot \overline{2} \cdot \overline{3} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{6} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8}. \quad (4)$$

Бесповторная форма в базисе конъюнкция-отрицание является формой перехода к замещению, то есть позволяет перейти от логической функции к вероятностной функции [2, 3]:

$$P_{жнк}(y_9 = 1, t) = 1 - Q_1(t) \cdot (1 - (1 - R_2(t) \cdot (1 - R_3(t) \cdot (1 - Q_4(t) \cdot Q_5(t))) \cdot (1 - R_6(t) \cdot (1 - Q_7(t) \cdot Q_8(t))))), \quad (5)$$

где:  $R_j(t)$  — вероятность работоспособного состояния  $n$ -го элемента в условиях воздействий различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе;  $Q_j(t)$  — вероятность неработоспособного состояния  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе.

Вероятностная функция (5) позволяет получить числовое значение вероятности сохранения минимальной топологической связности между элементами первичной и вторичной сети и характеризует структурную живучесть УС.

При неудовлетворительном значении показателя живучести УС возникает необходимость решения обратной задачи для неработоспособного состояния схемы с целью отыскания «слабых» звеньев. Решение обратной задачи в форме минимального сечения получим, раскрывая по схеме функциональной целостности логический критерий целостности (2):

$$\bar{y}_9 = \overline{1} \cdot \overline{2} \vee \overline{1} \cdot \overline{3} \cdot \overline{6} \vee \overline{1} \cdot \overline{3} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8} \vee \overline{1} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{6} \vee \overline{1} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8}. \quad (6)$$

Элементарные конъюнкции в выражении (6) представляют собой минимальные сечения. Каждое минимальное сечение состоит из элементов схемы, одновременный выход из строя которых приводит к неработоспособности всей схемы (всего УС). Повысить общую устойчивость УС можно расширением минимальных сечений, которое достигается двумя способами: 1) улучшением устойчивости элементов образующих минимальные сечения (применением тактической маскировки и инженерного оборудования, а также резервированием оборудования); 2) дублируя такие элементы, создавая обходные пути прохождения сообщений.

Основные ограничения и допущения, применяемые при моделировании: структура ТСС, ССОП задана и неизменна при различных способах, составах, структур применения сил и средств поражения; УС относятся к точечным объектам, если их линейные размеры не превышают 0,2 радиуса поражающего воздействия применяемого боеприпаса, а их состояние после воздействия могут иметь только два значения (либо узел связи сохранил работоспособность, либо полностью вышел из строя); вероятность восстановления элементов системы связи в заданное время после отказа  $P_{восст}(t)$  не учитывается.

Принятое предположение о квазистационарности процесса воздействия с переменной интенсивностью на протяжении конкретного этапа моделирования является достаточно обоснованным, так как всегда, с необходимой для практических расчетов точностью, можно весь период моделирования разбить на участки (этапы), где принятое допущение будет справедливым.

На основе разработки и апробации модели воздействия противника по элементам (объектам) СС СН показаны принципиальные возможности прогнозирования последствий различных вариантов деструктивных воздействий в предельно сжатые сроки, при существенной их вариации, основных направлений и мощности потока воздействий, а также относительной значимости (важности) поражаемых элементов (объектов). Разработанная модель включает оценку вероятности поражения элементов (объектов) СС СН и функциональную целостность ее структуры. Представленная модель отличается учитываемыми переменными данными по возможному поражению элементов (объектов) СС СН различными видами деструктивных воздействий на различных уровнях функционирования по этапам. Динамика состояния элементов (объектов) и структуры СС СН оценивается с учетом функциональной целостности, определяемой общим логико-вероятностным методом.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. — СПб: ВМА, 2000. — 166 с.
2. Рябинин И.А., Черкесов Г. Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.
3. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пособие. Л.: ВМА, 1988. — 68 с.

---

© Пылинский Максим Валерьевич (pylinskii.maksim@mail.ru), Латушко Максим Михайлович (maxconi81@gmail.ru),  
Терешкин Николай Михайлович (Mihalych08pskov@mail.ru), Самохин Евгений Сергеевич (evgenysamohin2006@rambler.ru),  
Кривцов Станислав Петрович (staskriv@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗОК В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

## HANDLING OVERLOADS IN DISTRIBUTED SYSTEMS

**D. Rubtsov**

*Summary.* This article is devoted to the study of various method of overload handling. Method of request retry is widely used in modern distributed systems to maintain high availability, due to the increase of network interaction between different components of systems. However, if system is overloaded, this method can lead to a complete failure of entire system. The articles discusses various methods and algorithms that allow systems to handle load spikes staying highly available.

*Keywords:* distributed systems, handling overloads, microservice architecture, highly available systems.

**Рубцов Дмитрий Викторович**

Руководитель группы разработки, Яндекс, г. Москва  
rubtsov.dmv@gmail.com

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию различных методов защиты от перегрузок. В современных распределенных система, в связи с увеличением сетевого взаимодействия между различным компонентами систем, все чаще применяют методику повторения запросов для увеличения показателя доступности системы, но в условиях перегрузки системы данный метод может приводить к полному отказу всей системы. В статье рассматриваются различные алгоритмы и методы, которые позволяют системе переживать всплески нагрузки, не жертвуя при этом показателями доступности.

*Ключевые слова:* распределенные системы, защита от перегрузок, микросервисная архитектура, системы высокой доступности.

## Введение

По мере развития Интернета к распределённым системам предъявлялись все более высокие требования производительности и отказоустойчивости. Сейчас уже трудно себе представить систему, которая бы могла уместиться на одном физическом сервере, даже самые небольшие системы для отказоустойчивости используют несколько виртуальных или физических серверов для сервера-приложения, распределяя запросы от пользователя с помощью балансировщика нагрузки.

Но, помимо этого, все чаще в современных системах начинают применять микросервисную архитектуру. [3, с. 4]

Основная особенность микросервисной архитектуры заключается в том, что вся система разделяется на множество небольших сервисов, которые отвечают за ограниченный участок бизнес-логики системы, называемые микросервисами. При этом микросервисы работают на разных физических или виртуальных серверах и обмениваются информацией между собой по сети TCP/IP, например с помощью протокола HTTP. И если в традиционной архитектуре основное взаимодействие между разными участками бизнес-логики системы происходит в памяти одного физического сервера, то в микросервисной архитектуре основное взаимодействие происходит по сети. Сообщения в сети могут быть по-

теряны, или может быть нарушена маршрутизация или даже весь сервер мог быть отключен от сети. В сети постоянно происходят различные случайные события, которые могут привести к ошибке обработки запроса, и чем более распределенной является система, тем сильнее проявляется эффект от передачи данных по сети.

Для того, чтобы защититься от такого рода ошибок в распределенных системах применяют механизм повтора запроса — если ответ от определенного сервера не был получен или была получена ошибка, то клиент повторяет запрос.

Например, представим, что есть система, состоящая из 3 серверов приложений и клиента, нагрузка между серверами приложений распределяется равномерно балансировщиком (рисунок 1). Клиент посылает запрос, который отправляется на первый сервер. В момент обработки запроса сервер перестает работать и клиент получает ошибку. Вместо того, чтобы показать ошибку пользователю, клиент повторяет запрос и балансировщик отправляет запрос на второй сервер, где он успешно выполняется. Данный метод особенно эффективен в более сложных топологиях, так при увеличении количества сетевого взаимодействия на один запрос пользователя, увеличивается и вероятность ошибки, и в системах, где требуется высокий уровень доступности, без перезапросов достаточно сложно достичь уровня 99,99% («четыре девятки») и более.

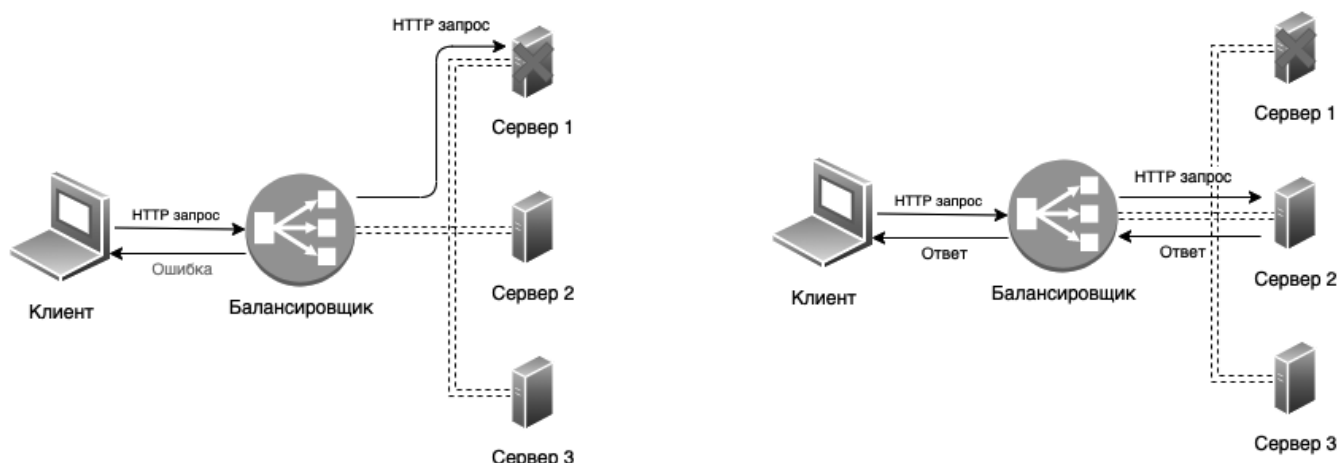


Рис. 1. Отказ сервера под балансировщиком нагрузки

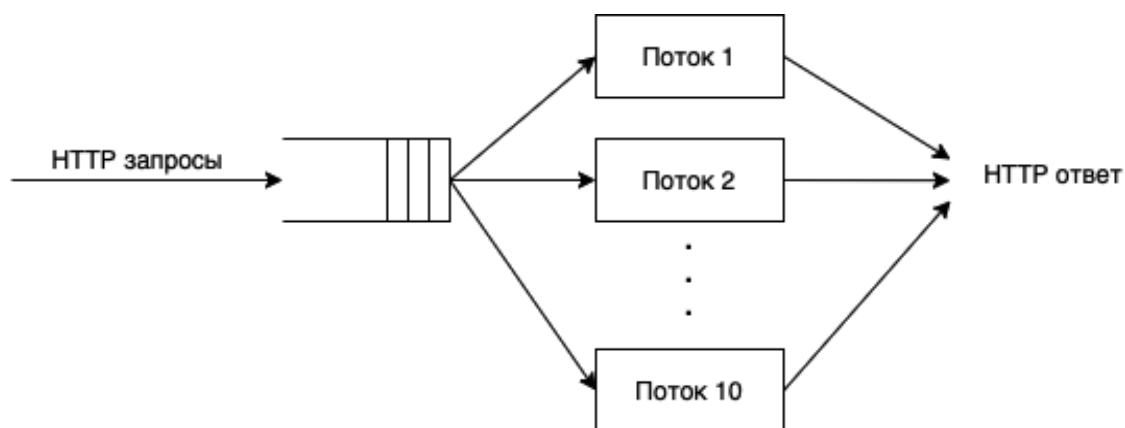


Рис. 2. Представление сервера приложения в виде М/М/10 СМО

Но у данного метода есть один большой недостаток — он увеличивает суммарную нагрузку на всю систему, что может в итоге привести к перегрузкам и отказам.

Далее в статье будут рассмотрены методы, которые позволяют достичь высокого уровня доступности, в условиях распределенных систем, и переживать возможные перегрузки с минимальными потерями в доступности системы.

### Ограничение частоты запросов

Отсутствие ограничения на частоту входящих запросов — одна из наиболее часто встречающихся причин полного отказа систем в момент перегрузок, а в условиях, когда в системе используется метод перезапросов, вероятность полного отказа при перегрузкахкратно возрастает из-за положительной обратной связи (дан-

ная тема будет подробнее освещена в следующем разделе).

Так почему же отсутствие ограничения на частоту запросов приводит к полному отказу? Рассмотрим пример. Возьмем сервер веб-приложения, который обрабатывает HTTP запросы от пользователя в 10 потоков, среднее время обработки одного запроса без нагрузки составляет 50мс. Будем считать, что для комфортной работы пользователя запрос должен укладываться в 200мс, если запрос превышает 1с, пользовательский опыт начинает сильно страдать, 10с ожидания пользователи воспринимают, как отказ в обслуживании.

Рассмотрим работу данного сервера, как М/М/10 систему массового обслуживания (СМО) с бесконечной очередью, чтобы определить, какой поток запросов приведет к отказу сервера.

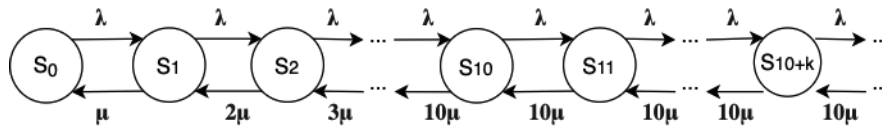


Рис. 3. Граф состояний СМО

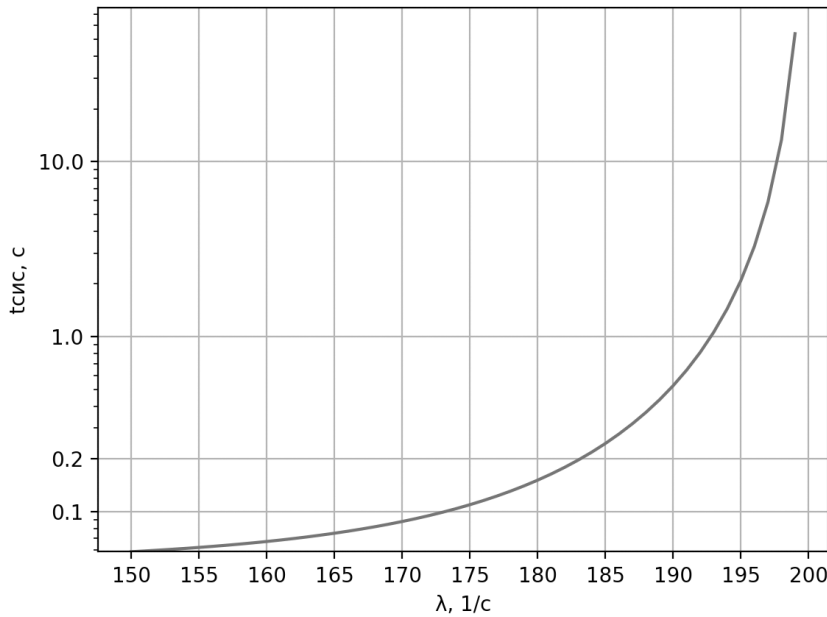


Рис. 4. Зависимость времени отклика системы от входящей нагрузки

Для расчета интенсивности входящих запросов  $\lambda$ , которая приведет к отказу, рассчитаем зависимость среднего времени обслуживания запроса системой  $\bar{t}_{\text{сист}}$  от  $\lambda$ . Построим граф состояния СМО (рисунок 3), где

$$\mu = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ (запросов/с)} -$$

интенсивность обработки запросов.

Для данного графа можно написать систему дифференциальных уравнений Колмогорова [2, с. 19] и для предельных вероятностей, приравняв производные нулю, получить следующую систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} 0 = -\lambda p_0 + \mu p_1 \\ 0 = \lambda p_0 - (\lambda + \mu)p_1 + 2\mu p_2 \\ \dots \\ 0 = \lambda p_9 - (\lambda + 10\mu)p_{10} + 11\mu p_{11} \\ \dots \\ 0 = \lambda p_{10+m-1} - [\lambda + (10+m)\mu]p_{10+m} + (11+m)\mu p_{11+m} \end{cases}$$

Вычислим значение предельных вероятностей:

$$p_0 = \left( 1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^{10}}{10!} + \frac{\rho^{11}}{10!(10-\rho)} \right)^{-1}$$

$$p_1 = \frac{\rho}{1!} p_0, \dots, p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0, \dots, p_{10} = \frac{\rho^{10}}{10!} p_0$$

$$p_{11} = \frac{\rho^{11}}{10 \cdot 10!} p_0, \dots, p_{10+m} = \frac{\rho^{10+m}}{10^m \cdot 10!} p_0, \dots - \rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

приведенная интенсивность потока.

Рассчитаем показатели эффективности СМО:

среднее число заявок в очереди

$$\bar{r} = \frac{\rho^{11} p_0}{10 \cdot 10! (1 - \frac{\rho}{10})^2}$$

среднее число запросов в системе

$$\bar{z} = \bar{r} + \rho;$$

среднее время пребывания запроса в системе

$$\bar{t}_{\text{сис}} = \frac{1}{\lambda} \bar{z}.$$

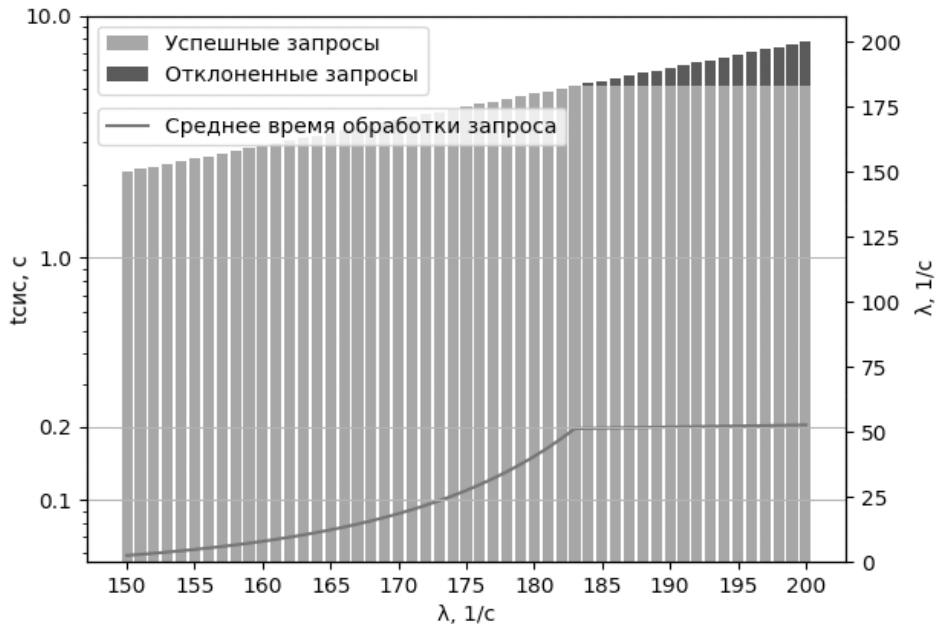


Рис. 5. Зависимость времени ответа системы от входящей нагрузки с ограничением частоты запросов

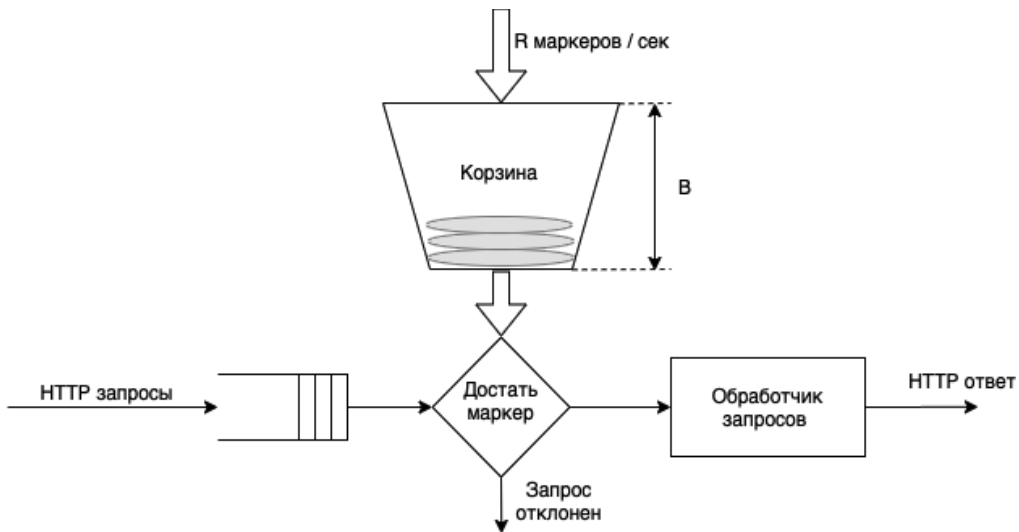


Рис. 6. Алгоритм маркерной корзины

Построим график зависимости  $\bar{t}_{сист}$  от  $\lambda$  (рисунок 4).

На графике видно, что система укладывается в 200мс до 183 запросов в секунду, далее при незначительном увеличении нагрузки на 5% время обработки запросов уже превышает 1с, а при увеличении на 7,5% превышает 10 секунд, что является недопустимым для большинства веб-сервисов. В итоге сервис перестает полностью функционировать, так как не успевает обработать ни одного запроса.

Но, если система начинает отклонять запросы после превышения порога в 183 запросов в секунду, при увеличении нагрузки на 7,5% до 197 запросов секунду 92,5% запросов продолжит успешно выполняться. Допустим сервер тратит 1мс на отклонение запроса, рассчитаем повторно зависимость  $\bar{t}_{сист}$  от  $\lambda$ , учитывая отклонение запросов.

На рисунке 5 видно, что, если сервер отклоняет запросы после превышения порога частоты в 183 запроса в секунду, среднее время на обработку всех запросов



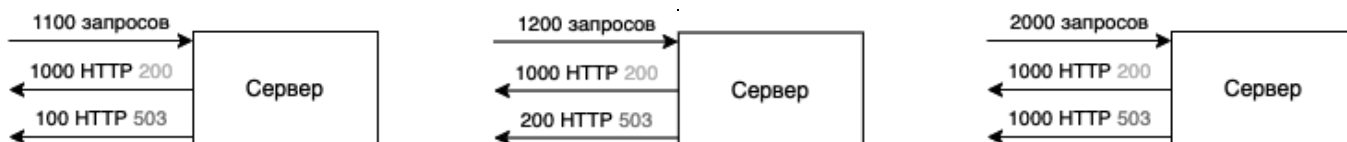


Рис. 7. Мультиплицирование нагрузки

перестает возрастать так стремительно, и большая часть запросов выполняется успешно.

Таким образом, зная предельное значение частоты входящих запросов, которое можно определить эмпирически, используя методы нагрузочного тестирования, система может отслеживать в реальном времени текущую интенсивность входящих запросов и отклонять все запросы, которые приводят к превышению допустимого порога интенсивности. Данный метод позволяет системе выдержать возможную перегрузку, не отказывая целиком в обслуживании.

Рассмотрим наиболее популярные алгоритмы, которые позволяют ограничивать входящую интенсивность запросов в систему.

### Алгоритм маркерной корзины

Алгоритм заключается в том, что в «ведро» помещаются «маркеры» с постоянной скоростью  $R$  маркеров в секунду, ведро ограничено объемом  $B$  маркеров.

Скорость  $R$  является максимальной средней скоростью поступления входящих запросов, когда объем ведра  $B$  соответствует максимальному размеру пульсации потока входящих запросов. Сервер перед обработкой запроса должен проверить, есть ли в ведре маркеры, если маркеры в ведре имеются, то из ведра удаляется маркер и запрос обрабатывается, если маркеры в ведре отсутствуют, то запрос отклоняется.

Если запросы в систему имеют разный вес и требуют разного количества ресурсов для обработки, то для каждого типа запросов можно доставать из корзины разное количество маркеров, пропорционально объему запроса.

### Алгоритм фиксированного окна

Данный алгоритм разбивает временную шкалу на окна фиксированного размера, например 1 секунду, каждое окно содержит счетчик. Для каждого запроса, основываясь на времени его поступления, мы находим соответствующее окно, если счетчик в данном окне превысил максимального значения, то запрос отклоняется, в противном случае запрос обрабатывается и увеличивается счетчик в соответствующем окне.

Очевидно, что данный алгоритм обеспечивает необходимую среднюю частоту запросов только внутри интервального окна, но не между окнами, так как на границах окон могут возникать всплески, превышающие среднюю частоту запросов вдвое.

### Алгоритм скользящего окна

Следующий похож на алгоритм фиксированного окна, но данный алгоритм сглаживает всплеск, которые происходят на границах окон. Это осуществляется за счет того, что к текущему окну добавляется взвешенное значение счетчика предыдущего окна.

Рассмотрим пример. Предположим, размер окна равен 1 секунде и ограничение на 10 запросов в секунду. Допустим, что в полуинтервале интервале  $[0; 1)$  с пришло 10 запросов в систему, а в текущем полуинтервале  $[1.0; 2.0)$  с пришло 1 запрос. В момент времени 1.150с приходит запрос, чтобы рассчитать текущую среднюю частоту запросов, воспользуемся формулой:

$$r = c_n + \left(1 - \frac{t \cdot \text{mod } w}{w}\right) c_{n-1}$$

Где  $t$  — текущее значение времени,  $w$  — размер окна,  $c_n$  — счетчик запросов в текущем окне,  $c_{n-1}$  — счетчик запросов в предыдущем окне.

Подставим значение в формулу, получим  $r = 1 + 85\% * 10 = 9,5 < 10$ , запрос может быть обработан.

Данный алгоритм по-прежнему является не точным, так как сглаживание происходит из предположения, что запросы внутри предыдущего окна распределены равномерно. Но данный алгоритм достаточно прост в реализации и несет небольшие накладные расходы из-за чего достаточно часто применяется на практике и в среднем показывает достаточную точность.

### Мультиплицирование нагрузки

Ограничив частоту запросов, мы защитились от полного отказа системы в случае перегрузок. Но если в си-

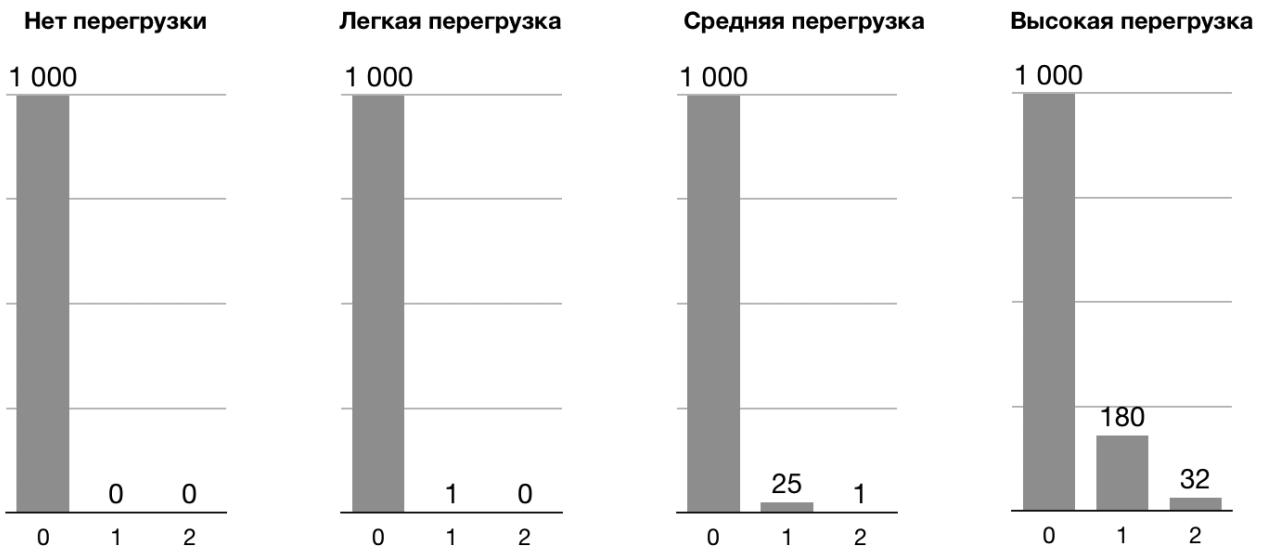


Рис. 8. Гистограмма распределения повторений запросов на сервере

стеме используются перезапросы при перегрузках возникает положительная обратная связь.

Рассмотрим пример, изображенный на рисунке 7. Предположим, что мы ограничили максимальную частоту запросов на уровне 1000 запросов/сек. На сервер поступает поток запросов с частотой 1100 запросов/сек, 1000 запросов (90%) выполняется успешно, а 100 запросов (10%) мы отклоняем. В следующую секунду на сервер уже поступает 1200 запросов, из них 1100 — новые запросы, а 100 это перезапросы по запросам, которые не были обработаны в предыдущую секунду. Таким образом мы отклоняем уже 200 запросов (18%). Если перезапросы на клиенте никак не ограничены, то через 4.2 секунды суммарное кол-во запросов на сервер станет равным 2000 и 50% запросов будут отклоняться с ошибкой.

Ситуация усугубляется, если пользовательский запрос при обработке проходит через несколько серверов и на каждом уровне происходит перезапрос при ошибке, в сложных топологиях это может приводить к экспоненциальному росту нагрузки.

В итоге вся система испытывает так называемый «шторм перезапросов» (retry storm), обрабатывая только перезапросы. Далее мы рассмотрим различные методики борьбы с подобными ситуациями.

#### Бюджет перезапросов

Чтобы не приводить к ситуации, когда количество перезапросов превышает изначальное число запро-

сов, нужно ограничивать число перезапросов на стороне клиента. Как показано в примере изображенном на рис. 7, при неограниченных перезапросах нагрузка может увеличиться вдове в течение нескольких секунд.

Чтобы ограничить общее число перезапросов на клиенте, необходимо вести счетчик всех запросов и счетчик повторных запросов. Далее вводим ограничение на% повторных запросов, например: если текущее соотношение перезапросов не превышает 10% — делаем повторный запрос, иначе, перестаем делать запросы и возвращаем ошибку. Таким образом купируется положительная обратная связь и максимальный возможный всплеск нагрузки из-за перезапросов ограничивается 10%.

#### Остановка перезапросов

Делая перезапрос при неудачном запросе на сервер, мы исходим из двух предположений: либо ошибка была случайной, либо сервер, на который мы сейчас попали, перегружен, но при перезапросе балансировщик нагрузки направит запрос на менее загруженный сервер и запрос выполниться успешно. Но бывают ситуации, когда перегружен не один сервер, а вся система целиком. В таком случае делать перезапрос — бессмысленно, мы попадем на такой же перегруженный сервер и запрос не будет выполнен.

Но существует метод, который позволяет на отдельно взятом сервере понять, что вся система испытывает перегрузку.

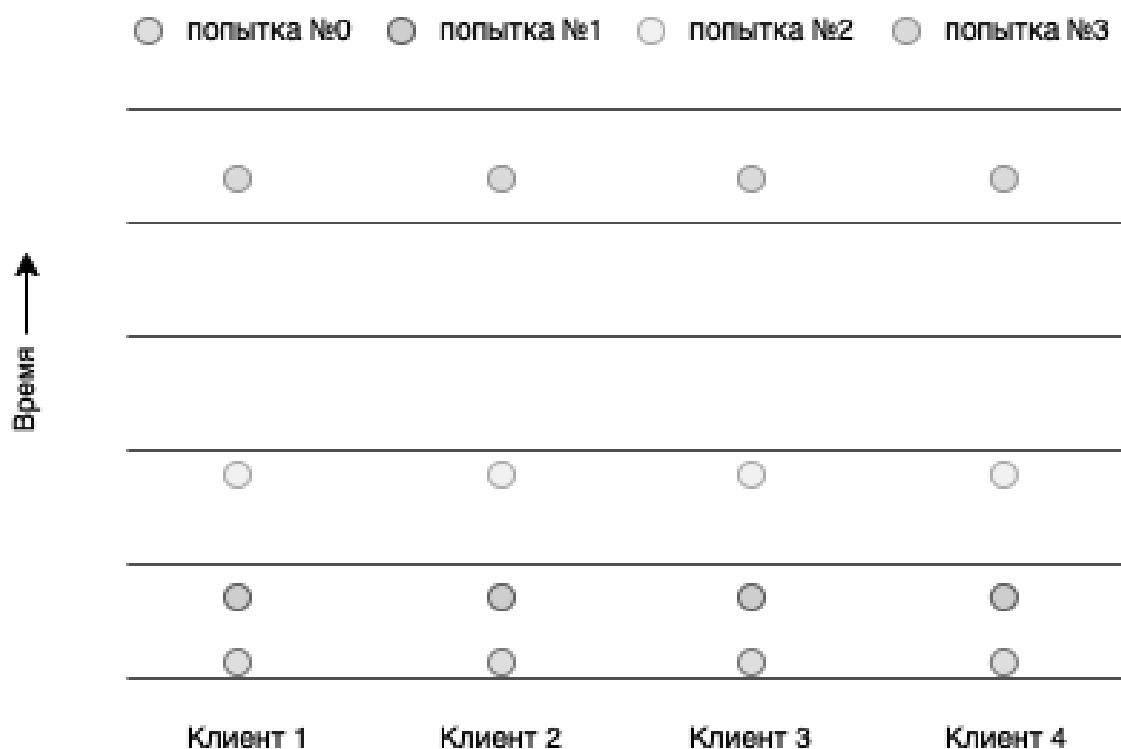


Рис. 9. Перезапросы с экспоненциальным отставанием

Для каждого запроса на клиенте введем счетчик попыток (по умолчанию 0), и будем передавать значение счетчика в каждом запросе на сервер. Если клиент-серверное взаимодействие в системе происходит по протоколу HTTP, мы можем добавить к запросу заголовков *X-Request-Attempt*, значение которого — текущая попытка получить ответ от сервера. С помощью алгоритма скользящего окна на сервере мы можем постоянно рассчитывать текущее распределение «попыток».

Так как балансировщик нагрузки равномерно распределяет запросы, то перезапросы, как мы уже заметили ранее, с большой вероятностью попадают на другой сервер и, если на сервере фиксируется большое количество запросов со значением счетчика попыток больше 0, это значит, что соседние сервера испытывают перегрузку. На рисунке 8 наглядно показано, что, построив гистограмму текущего распределения количества попыток, можно сделать вывод об общем состоянии системы [1, с. 253].

Таким образом, если на сервере сработало ограничение на количество запросов, нужно не просто отдать ошибку на клиент, нужно проверить не испытывает ли перегрузку вся система. Если текущая гистограмма показывает, что количество перезапросов высокое — в от-

вете сервера нужно отдать ошибку, которая прекратит перезапросы на стороне клиента.

Важным аспектом в остановке перезапросов является то, что в сложных топологиях, когда обработка 1 запроса пользователя проходит через множество серверов, если мы на каком-либо из уровней получили ошибку перегрузки системы, ее нужно прокинуть вверх по всему стеку, чтобы предотвратить повторы запросов на уровнях выше.

#### Задержки между перезапросами

Если перезапрос на клиенте происходит сразу после получения ошибки от сервера, то с большой долей вероятности сервер также ответит ошибкой, так как, если сервер страдает от перегрузки, то отсутствие задержки при перезапросе не приводит к снижению нагрузки в целом и сервер остается перегруженным. Поэтому рекомендуется использовать метод экспоненциального отставания, который позволяет постепенно снижать нагрузку на сервер с каждым перезапросом. Метод заключается в том, что с каждым перезапросом мы экспоненциально увеличиваем задержку между следующим запросом по формуле:

$$delay = base * f^n,$$

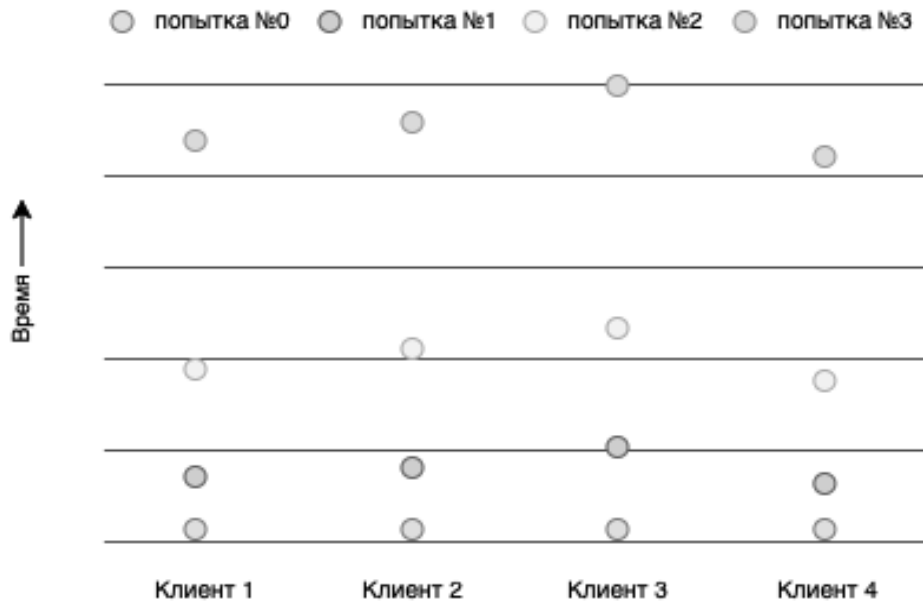


Рис. 10. Перезапросы с экспоненциальным отставанием и джиттером

где *base* — начальный интервал задержки, *f* — коэффициент экспоненциального нарастания задержки (обычно равен 2), *n* — количество предыдущих неудачных запросов.

На рисунке 9 изображен график запросов нескольких клиентов при использовании экспоненциального отставания. Видно, что со временем задержка между запросами увеличивается, давая системе восстановиться, но все запросы происходят в одно и то же время из-за чего ресурсы сервера начинают расходоваться неравномерно. Для решения данной проблемы к задержке добавляют джиттер — случайную задержку, таким образом мы имеем формулу:

$$delay = base * f^n + jitter$$

Добавляя случайную задержку, мы снижаем вероятность коллизии, что два запроса, которые получили ошибку в одно и то же время повторяться в один и тот же промежуток времени. Пример распределения задержек с использованием джиттером показан на рисунке 10.

### Заключение

В данной статье были рассмотрены различные методики, которые позволяют сделать распределенную систему более надежной и устойчивой к перегрузкам. Использование перезапросов позволяет снизить количество ошибок, которые возникают из-за передачи по ненадежным каналам связи. Ограничение частоты запросов на сервере с использованием алгоритма скользящего окна позволяет переживать перегрузки в системе и позволяет избежать полного отказа системы. Бюджетирование запросов на клиенте в сочетании с экспоненциальным отставанием позволяет избежать «шторма перезапросов» при замедлении работы системы и позволяют системе восстановиться после перегрузок. Построение гистограмма распределения попыток на сервере позволяет серверу определить, что вся система перегружена, чтобы остановить бессмысленные перезапросы со стороны клиента, что дополнительно ускоряет восстановление всей системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бейер Б., Джоунс К. Site Reliability Engineering. Надежность и безотказность как в Google. Спб.: Питер, 2019. 596 с.
2. Авсиевич А.В., Авсиевич Е. Н. Теория массового обслуживания. Самара: Самарская государственная академия путей сообщения, 2004. 24 с.
3. Ньюмен С. Создание микросервисов. Спб.: Питер, 2016. 304 с.

© Рубцов Дмитрий Викторович ( rubtsov.dmv@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ДИАГОНАЛЬНАЯ СКЛАДКА МОЧКИ УХА – ПРЕДИКТОР ИНФАРКТА МИОКАРДА У ПАЦИЕНТОВ ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ?

### CREASE EARLOBE A PREDICTOR OF MYOCARDIAL INFARCTION IN PATIENTS WITH ESSENTIAL HYPERTENSION

**S. Akhmedkhanov  
B. Abdullaeva  
Z. Saidova  
Z. Agmadova  
M. Ezilyaeva**

*Summary.* Frank's sign as a predictor of myocardial infarction (MI) in patients with hypertension (HTN) was evaluated. 151 patients with hypertension with complicated and uncomplicated MI were examined. It was found that the frequency of detection of Frank sign in male HTN patients is higher than in female patients, increases in direct proportion to age. However, there is no Association of Frank's symptom in patients with HTN with MI, LVH and obesity.

*Keywords:* diagonal fold of the ear lobe, hypertension, myocardial infarction, Frank's sign.

**Ахмедханов Сейпула Шапиевич**

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Махачкала  
saip@mail.ru

**Абдуллаева Барият Сайпулаевна**

Ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Махачкала  
bariyat0227@mail.ru

**Саидова Заира Магомедовна**

Ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Махачкала  
zaira.saidova.2019@bk.ru

**Агмадова Зарина Магомедовна**

К.м.н., ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Махачкала  
agmzar@mail.ru

**Эзильева Мадина Рурухановна**

Ассистент, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Махачкала  
eziljaeva.m@yandex.ru

*Аннотация.* Проведена оценка признака Франка как предиктора инфаркта миокарда (ИМ) у больных гипертонической болезнью (ГБ). Обследовано 151 больных ГБ с осложнённым и неосложненным ИМ. Установлено, что частота выявления признака Франка у больных ГБ мужского пола выше, чем у пациентов женского пола, возрастает прямо пропорционально возрасту. Вместе с тем, отсутствует ассоциация симптома Франка у больных ГБ с ИМ, ГЛЖ и ожирения.

*Ключевые слова:* диагональная складка мочки уха, гипертоническая болезнь, инфаркт миокарда, признак Франка.

### Актуальность

**В** настоящее время для постановки диагноза, прогнозирования вероятности развития заболевания все чаще используются все более сложные и дорогостоящие лабораторно-инструментальные методы исследования, такие как тесты на ишемию миокарда: ЭКГ с нагрузкой, стресс-ЭхоКГ, ТИМ сонных артерий, измеряемая методом высокоразрешающего УЗИ, кальциноз коронарных артерий (КА), выявляемый методом МСКТ. Несмотря на развитие высоких технологий, клинический

осмотр пациента по-прежнему, является надежным инструментом в диагностике различных заболеваний. Это связано с тем, что выявляемые при осмотре клинические признаки заболевания, являются фенотипическими проявлениями измененного генотипа и, следовательно, некой «визитной карточкой» как самой патологии, так и предрасположенности к ней. Так, например, выявлено, что предикторами ИМ у больных ГБ риска являются гено-фенотипические маркеры: мужской пол, абдоминальное ожирение, синофриз, сросшаяся мочка уха, оттопыренные уши, наличие лысины, влажный тип уш-

Таблица 1. Частота признака Франка у пациентов с ГБ

Признак Франка	Количество (n)	Процент (%)
Есть	77	51,0
Нет	74	49,0
Всего	151	100,0

ной серых[1]. Клинические (фенотипические) признаки представляют собой обширный массив дан ных, доступных осмотру, легко выявляемых и не требующих применения дорогостоящего оборудования, использующиеся при ди агностике заболеваний, прогнозировании осложнений, предрасположенности к патологии еще на эта пе доклинических проявлений. Обсуждается возможность использования в клинике для диагностики ранней субклинической стадии атеросклероза, таких суррогатных маркеров, как: ожирение, толщина Ахиллова сухожилие [8], ксантомы и ксантелазмы, низкорослость и алопеция [19], раннее поседение волос на голове и передней поверхности грудной клетки у молодых мужчин, симптом Габриели (обильный рост волос на ушных раковинах). Одним из таких маркеров субклинической стадии атеросклероза может рассматриваться также наличие диагональной складки мочки уха (ДСМУ) или признак Франка, (по фамилии американского врача Sonders T. Frank), который его впервые описал в 1973 году. Наличие диагональной складки мочки уха (ДСМУ) у пациентов с коронарной недостаточностью отнесли её к внесердечным проявлениям коронарной недостаточности. Впоследствии этот симптом стал именоваться в литературе как признак Франка. В отечественной литературе данный симптом известен как признак Халфена. Кроме того, в ряде исследований признак Фрэнка описан как вероятный предиктор развития ИБС[7,14,17], цереброваскулярных заболеваний [5,13,18] и периферических сосудистых заболеваний [4,12,15].

**Цель** настоящего исследования состояла в изучении ассоциации между признаком Франка и развитием инфаркта миокарда (ИМ) у больных гипертонической болезнью (ГБ).

### Материалы и методы

Нами проведено ретроспективное исследование пациентов с ГБ, в возрасте старше 40 лет, находившихся на стационарном лечении в отделении терапии ГБ № 1 и инфарктном отделении Республиканской больницы № 2 ЦЭСМП г. Махачкала. Все обследованные были жителями Республики Дагестан, не состояли в родстве. Протокол исследования одобрен этическим комитетом ДГМУ. Все больные подписали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Все больные были распределены на две группы: 1-я группа (78 человек) —

больные ГБ, без ассоциированных клинических состояний (контрольная группа); 2-я группа (73 человека) — больные ГБ, ассоциированной с ИМ (табл. 1). Наличие ИБС доказывалось, по крайней мере, одним из следующих признаков: перенесенный ранее ИМ (не менее чем за 3 мес. до начала исследования); наличие изменений на ЭКГ, характерных для ИМ и положительные результаты стресс-эхокардиографии, демонстрирующие нарушение движения стенок миокарда в отсутствие нормально-го повышения фракции выброса левого желудочка при нагрузке. Клиническое обследование включало в себя сбор жалоб и анамнеза, клиническое обследование больного по органам и системам. Кроме того, все пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на участие в исследовании. Всем больным проводили общепринятые лабораторные и инструментальные методы исследования: общий анализ крови, биохимический анализ крови (определение общего холестерина, ЛПНП, ЛПВП, ТГ и др.), электрокардиографию (ЭКГ), эхокардиографию (ЭхоКГ). Клиническое обследование включало изучение антропометрических данных: рост, вес, ИМТ, индекс талия/бедро (ИТБ). С целью выявления ДСМУ (симптома Франка) проводился осмотр обеих ушных раковин. Осмотр проводится в положении пациента сидя или лежа. Этот признак считается выявленным при наличии у пациента диагональной складки в мочке уха, которая начинается от козелка к краю ушной раковины под углом 45°. Признак считался выявленным при его наличии на одной (любой) из ушных раковин. Все данные заносились в специально разработанную форму на бумажных носителях (карта осмотра пациента). Параллельно информация заносилась в электронную таблицу в формате EXCEL. Значения параметров обработаны методом вариационной статистики с использованием пакета программ Statistica 6.0. Дискретные величины (качественный признак) сравнивали по критерию  $\chi^2$  Pearson. Достоверность различия величины  $\chi^2$  для  $p < 0,05$  принималась равной значению 3,84; для  $p < 0,01$  величина критерия  $\chi^2$  — 6,63. Коррекцию Yates применяли, если частота признака хотя бы в одной ячейке меньше 10. Когда ожидаемое число наблюдений в любой из клеток таблицы сопряженности было менее 5, использовали точный критерий Fisher, указывали величину  $p$ . Статистическая значимость различий относительных величин определялась по  $t$  критерию Стьюдента. Для сравнения степени связи между изучаемыми признаками определялся коэффициент корреляции Спирмена.

Таблица 2. Локализация признака Франка

Частота признака Франка у пациентов с ГБ, в зависимости от наличия ИМ				
Признак Франка	(ГБ+ИМ)		(ГБ)	
	n	%	n	%
Есть	39	53,4	38	48,7
Нет	34	46,6	40	51,3
Всего	73	100	78	100

Таблица 3. Оценка частоты признака Франка в зависимости от его локализации

Признак Франка		1 –я группа (ГБ+ИМ)		2-я группа (ГБ)		Всего	
		n	%	n	%	n	%
Справа	Есть	32	43,8	35	44,8	67	44,4
	Нет	41	56,1	43	55,2	84	55,6
	Всего	73	100	78	100	151	100
Слева	Есть	31	42,7	26	33,3	57	37,7
	Нет	42	57,3	52	66,7	94	62,3
	Всего	73	100	78	100	151	100
Независимо от локализации	Есть	39	53,4	38	48,7	77	50,9
	Нет	34	46,5	40	51,3	74	49,1
	Всего	73	100	78	100	151	100
Симметричное расположение на обоих ушах	Есть	23	31,5	23	29,5	47	31,1
	Нет	50	68,5	55	70,5	104	68,8
	Всего	73	100	78	100	151	100

## Результаты исследования и их обсуждение

### Ассоциация с ГБ

В целом в исследовании участвовало 151 больных ГБ (69 женщин и 82 мужчин), согласившихся участвовать в исследовании. Признак Франка выявлен в целом у 51% пациентов (табл. 1), а его отсутствие — в 49,0%. Распределение пациентов по симптому Франка выявило, что частота ДСМУ в обеих исследуемых группах больных ГБ достоверно не различалась ( $\chi^2=0,44$ ;  $t=0,66$ ). Гипертония является одним из классических факторов риска атеросклероза. Имеется работа по оценке частоты ДСМУ у пациентов ГБ осложнённым развитием инсульта [13]. В этой работе выявлено, что симптом Франка отмечался всего у 12,9% случаев у пациентов ГБ.

### Ассоциация с ИМ

В дальнейшем все пациенты с ГБ были разделены на 2 группы. В 1-ю группу вошли пациенты, у которых, в соответствии с анамнезом, ЭКГ и УЗИ сердца, выявлен ИМ. 2-ю группу составили пациенты, ГБ без ИМ. При этом оказалось, что из 151 пациента в 1-й группе – 73 пациента с ГБ с перенесенным ИМ (48,3% от всех пациентов),

а во 2-й группе — 78 пациентов ГБ без перенесенного ИМ (51,7% от всех пациентов).

Симптом Франка в 1-й группе выявлен у 39 пациентов (53,4%), а во 2-й — у 38 пациентов (48,7%) (табл. 2), что свидетельствует об отсутствии достоверных различий между группами по этому признаку и, по нашим данным, не зависит от наличия или отсутствия у пациентов ГБ такого грозного осложнения как ИМ.

В тоже время, существует множество исследований, отмечающих наличие этого признака у пациентов ИМ. Показано, что существует тесная корреляция частоты выявления и выраженности ДСМУ с поражением коронарных сосудов, выявляемым при коронарографическом исследовании [7,14]. Относительно одинаковая частота данного признака в обеих исследуемых группах (отсутствие достоверных различий), возможно, свидетельствует о том, что симптом Франка является маркером не ИМ а, в общем, ассоциирован с развитием атеросклероза и развитием ССЗ.

В одной из работ отмечено, что наличие ДСМУ именно слева ассоциировано с высоким риском формирования ГЛЖ при АГ. У пациентов, у которых был знак Франка в обоих ушах, отмечено повышение частоты сер-

Таблица 4. Частота симптома Франка в зависимости от наличия ГЛЖ

Группы	ГЛЖ	Признак Франка					
		Есть		Нет		Всего	
		n	%	n	%	n	%
n=73	Есть	11	28,2	28	71,8	39	100
	Нет	8	23,5	26	76,5	34	100
	Всего	19	26,1	54	73,9	73	100
n=78	Есть	11	28,9	27	71,1	38	100
	Нет	16	40,0	24	60,0	40	100
	Всего	27	34,6	51	65,4	78	100
n=151	Есть	22	28,6	55	71,4	77	100
	Нет	24	32,4	50	67,6	74	100
	Всего	46	30,5	105	69,5	151	100

Примечание: использован критерий  $\chi^2$  Pearson

дечно-сосудистых осложнений после коронарной катетеризации[7].

Анализ частоты локализации признака Франка проводился в обеих группах, и при этом оценивали частоту симптома Франка с обеих сторон лица в целом и по отдельности с каждой стороны (табл. 3). В целом среди всех пациентов с ГБ (151 пациент) признак Франка выявлялся чаще справа (44,4%), чем слева (37,7%).

Следует отметить, что признак Франка нами выявлялся, справа с примерной одинаковой частотой в обеих группах: в 1-й группе в 43,8% случаев и во 2-й — в 44,8%. При оценке признака Франка слева оказалось, что имеется разница между 1-й и 2-й группами, при этом признак Франка чаще отмечался слева в 1-й группе (42,7%), чем во 2-й — 33,3% случаев. Если оценивать наличие признака Франка независимо от локализации, частота его выявления оказывается наибольшей у больных 1-й группы ГБ и достигает до 53,4%. Реже отмечается симметричное с обеих сторон лица на обеих ушных раковинах наличие признака Франка, при этом минимальная его частота отмечается во 2-й группе (29,5%) (табл. 3).

Полученные результаты свидетельствуют, что для выявления признака Франка необходимо тщательно осматривать обе ушные раковины и наличие его даже с одной стороны можно считать признак Франка положительным. В этой связи, в дальнейшем анализе наших данных мы учитывали выявление признака Франка вне зависимости от его локализации.

#### Гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ)

Следующий анализ данных проведен для определения частоты ассоциации симптома Франка с развитием гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ) у больных ГБ (табл. 4.). В целом у пациентов с ГБ (из 151 пациента) ГЛЖ

отмечалась у 77 пациентов, среди них признак Франка выявлен у 22 пациентов (28,6%). В 1-й группе признак Франка отмечался у 11 пациентов (28,2%) и во 2-й группе также у 11 пациентов (28,9%). Нами не выявлено достоверной разницы в частоте признака Франка ни в одной из групп.

#### Пол

При оценке влияния пола на частоту ассоциации с признаком Франка среди всех пациентов ГБ (среди 151 пациента) нами выявлено, что среди лиц мужского пола (из 69 пациентов) признак Франка выявлен чаще — (у 57,9%). У пациентов женского пола (из 82 пациентов) признак выявлен реже (у 45,1%). Вместе с этим, при оценке данного показателя по группам, в 1-й группе различий не обнаружено (табл. 5). А во 2-й группе выявлено значительное превышение частоты признака Франка у лиц мужского пола (среди 16 пациентов) (75%), чем у лиц женского пола (41,9%). Следовательно, при оценке влияния гендерного показателя на частоты признака Франка выявлено более частое обнаружение этого признака у лиц мужского пола. Однако эта разница не получила статистического подтверждения при вычислении критерия  $\chi^2$  Пирсона ( $\chi^2=2,47$ ;  $p \geq 0,05$ ) среди всех пациентов ГБ. В тоже время, оценка критерия Пирсона у пациентов 2-й группы показала, что частота признака Франка у лиц мужского пола достоверно выше, чем у пациентов женского пола в этой же группе ( $\chi^2 = 5,56$ ;  $p \leq 0,05$ ). Наши данные частично согласуются с данными литературы. Так, В.В. Веселов показал, что у пациентов с ИМ ДСМУ встречается в 91% случаев, причём у мужчин чаще, чем у женщин, и что существует тесная корреляция частоты выявления и выраженности ДСМУ с поражением коронарных сосудов, выявляемым при коронарографическом исследовании. Отмечено, что чем более выражена ДСМУ, тем выше степень сужения венечных артерий сердца. Интересно отметить, что у мужчин бо-



Таблица 5. Гендерные особенности распределения признака Франка

Признак Франка	Всего n=151				1-я группа ГБ+ИМ n=73				2-я группа ГБ n=78				с	
	м		ж		м		ж		м		ж			
	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	P1 .м,ж	P2 .м,ж
Есть	40	57,9	37	45,1	28	52,8	11	55	12	75,0*	26	41,9	p≥0,05	p≤0,05
Нет	29	42,1	45	54,9	25	47,2	9	45	4	25,0*	36	58,9	p≥0,05	p≤0,05
Всего	69	100	82	100	53	100	20	100	16	100	62	100	-	-

Примечание: использован критерий  $\chi^2$  Pearson. Проводилось внутригрупповое сравнение

Таблица 6. Возрастные и антропометрические аспекты распределения признака Франка

Показатели	Признак Франка	1-я группа ГБ+ИМ n= 73		2-я группа ГБ n= 78		Всего n=151	
		п	M± m	п	M± m	п	M± m
Возраст	Есть	39	62,7±1,49	38	63,1±1,24*	77	62,9±0,96*
	Нет	34	60,5±1,76	40	58,8±1,37	74	59,5±1,09
ИМТ	Есть	39	28,6±0,71	38	28,5±0,61*	77	28,5±0,47
	Нет	34	27,5±0,68	40	31,7±0,93	74	29,7±0,64
Рост	Есть	39	164,6±1,45	38	161,1±1,65*	77	162,8±1,11
	Нет	34	168,3±1,68	40	156,2±1,27	74	161,7±1,25

Примечание: использован парный t-критерий Стьюдента.

\* - достоверность различия  $\leq 0,05$  между показателями с наличием и отсутствием симптома Франка  
Проводилось внутригрупповое сравнение

лее высокая распространенность признака Франка, чем женщин, а мужской пол также является важным фактором риска развития ИБС [3].

При оценке ассоциации возраста с развитием признака Франка у пациентов с ГБ в целом (151 пациент) выявлено, что они были старше и средний возраст равен (62,9±0,96 лет) лет, а пациенты с отсутствием признака Франка были моложе (59,5±1,09 лет). Эта возрастная разница оказалась статистически достоверной (p≤0,05). При оценке показателя возраста по группам выявлена разница между ними. Если в 2-й группе достоверность показателя возраста с наличием симптома Франка сохранялась, то в 1-й группе сохранилась только тенденция наличия симптома Франка у пациентов старшего возраста (табл. 6).

Для более тщательной оценки влияния возраста на частоту выявления признака Франка у всех пациентов ГБ в целом (151 пациент) и по обеим группам (1-я и 2-я группы) нами проведено подразделение по возрастам с интервалом 10 лет (от 40–49 лет), (от 50–59 лет), (от 60–69 лет) и (70 и выше). В целом, выявлено нарастание частоты выявления признака Франка по мере старения пациентов. При этом тенденция как в группе пациентов ГБ в целом, и в обеих группах прослеживается аналогич-

ная тенденция: рост частоты признака Франка до возрастного промежутка 60–69 лет и в дальнейшем его небольшое снижение. Снижение частоты признака Франка у пациентов категории возраста старше 70 лет можно объяснить элиминацией носителей признака Франка, вследствие возможных фатальных событий (инфаркт миокарда, инсульт). При корреляционном анализе среднего возраста и частоты признака Франка у больных ГБ, в целом, выявлена прямая достоверная взаимосвязь обоих показателей (r=0,876; t=5,353). Зависимость признаков статистически значима.

Вместе с тем, данные литературы свидетельствуют о том, что распространенность признака Франка тесно связана с возрастом. Складка мочки уха — приобретенный признак, который практически отсутствует в младенчестве и детстве, но увеличивается с возрастом. Так, частота этого признака от 4% в третьем десятилетии жизни у мужчин возрастает до 50% в возрасте 70 лет и более [3].

В 80% случаев у людей моложе 40 лет складка мочки уха являлась признаком ИБС. Эти результаты хорошо согласуются с результатами других исследований на здоровых лицах [9]. В тоже время, другие исследователи указывают на то, что у больных ИБС ДСМУ встречается достоверно чаще, чем у клинически здоровых лиц.

Таблица 7. Распределение признака Франка в зависимости от ИМТ

ИМТ		Норма 18,5-24,9		Ожирение							
				1 ст. 25,0-29,9		2 ст. 30-34,9		3 ст. 35,0-39,9		Всего	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Признак Франка	Есть	17	48,6	30	56,6	26	55,3	4	25,0*	60	51,7
	Нет	18	51,4	23	43,4	21	44,7	12	75,0*	56	48,3
	Всего	35	100	53	100	47	100	16	100	116	100

Примечание: для сравнения использован критерий  $\chi^2$  Pearson.

Проводилось внутригрупповое сравнение

\* - достоверность различия  $\leq 0,05$  между показателями с наличием и отсутствием симптома Франка

У здоровых лиц распространённость ДСМУ с возрастом увеличивается, а у больных ИБС наличие ДСМУ не зависит от возраста и выявляется практически у всех молодых лиц, перенесших ИМ.

### Ожирение

Для оценки наличия ожирения использовали индекс массы тела (ИМТ). Нормальная масса тела отмечалась среди всех больных ГБ (из 151 пациента) в 23,2% случаев, а ожирение — у 76,8% пациентов. Среди них ожирение 1 степени отмечалось (ИМТ = 25,0–29,9) 35,1% случаев, 2 степени – 31,1%, а ожирение 3 ст. — у 10,6% пациентов ГБ. При сравнении частоты признака Франка пациентов с нормальной массой тела и с ожирением, в целом, выявлено отсутствие достоверных различий в зависимости от наличия или отсутствия ожирения. Также нами не выявлено достоверной ассоциации от степени ожирения

(табл. 7) при 1-й и 2-й степени ожирения. В тоже время, в при 3-й степени ожирения нами выявлено, что симптом Франка достоверно реже выявляется ( $\chi^2 = 5,31$ ;  $p \leq 0,05$ ). Однако, в некоторых работах [3,10] выявили связь между симптомом Франка и наличием ожирения, что противоречит нашим данным. Авторы [3] предполагают, что ожирение может ускорить распад коллагена и эластина, который наблюдается при старении кожи и это приводит к образованию складок мочки.

### Выводы

1. Ассоциация симптома Франка у больных ГБ с наличием ИМ, ГЛЖ и ожирения не выявлена
2. Частота выявления признака Франка у больных ГБ мужского пола выше, чем у пациентов женского пола и возрастает прямо пропорционально возрасту

### ЛИТЕРАТУРА

1. Айсаева Х. М. Ахмедханов С. Ш. Дерматоглифические особенности у больных гипертонической болезнью с осложненным и неосложненным течением. // Успехи современного естествознания. 2008. № 8. С. 139–140.
2. Christoffersen M, Tybjaerg-Hansen A. Visible aging signs as risk markers for ischemic heart disease: Epidemiology, pathogenesis and clinical implications. // Ageing Res Rev. 2016. Jan; V.25.S. 24–41.
3. Christoffersen M., Tybjaerg-Hansen, A. Visible aging signs as risk markers for ischemic heart disease: Epidemiology, pathogenesis and clinical implications. // Ageing Research Reviews <http://dx.doi.org/10.1016/j.arr.2015.11.002>
4. Friedlander, A. H. Association between clinically identified diagonal ear lobe crease and panoramic radiographs evidencing calcified carotid artery atheromas: preliminary observations. // J Oral Maxillofac Surg. 2010. V.68.S.227.
5. Glavic, J., Cerimagic, D., Lovrencic-Huzjan, A., Vukovic, V., Demarin, V. Frank's sign as a risk factor for cerebrovascular disease. // Atherosclerosis. 2008. V.196.S.477–478.
6. Higuchi, Y., Maeda, T., Guan, J.Z., Oyama, J., Sugano, M., Makino, N. Diagonal earlobe crease are associated with shorter telomere in male Japanese patients with metabolic syndrome. // Circ J. 2009. V.73.S.274–279.
7. Hou, X., Jiang, Y., Wang, N. et al, The combined effect of ear lobe crease and conventional risk factor in the diagnosis of angiographically diagnosed coronary artery disease and the short-term prognosis in patients who underwent coronary stents. // Medicine (Baltimore). 2015. V.94: S.815.
8. Jarauta, E., Junyent, M., Gilabert, R. et al, Sonographic evaluation of Achilles tendons and carotid atherosclerosis in familial hypercholesterolemia. // Atherosclerosis. 2009. V.204.S.345–347.
9. Kang, E.H., Kang H. C. Association Between Earlobe Crease and the Metabolic Syndrome in a Cross-sectional Study. // Epidemiol. Health. 2012. V.34. S.201–204.
10. Kohl, E., Steinbauer J., Landthaler M., Szeimies R. M. Skin ageing. // J Eur. Acad. Dermatol. Venereol. 2011. V.25. S.873–884.
11. Korkmaz, L., Ağaç, M.T., Acar, Z. et al, Earlobe crease may provide predictive information on asymptomatic peripheral arterial disease in patients clinically free of atherosclerotic disease. // Angiology. 2014. V.65.S.303–307.

12. Korkmaz, L., Ağaç, M.T., Erkan, H. et al, Association between diagonal earlobe crease and cardio-ankle vascular index in asymptomatic hypertensive patients. //Med. Princ. Pract. 2013. V.22.S.530–534.
13. Nazzal S, Hijazi B, Khalila L, Blum A. Diagonal Earlobe Crease (Frank's Sign): A Predictor of Cerebral Vascular Events.// Am J Med. 2017. Nov; V.130.№ 11.S. 1–1324.
14. Ohry, A. Physical diagnosis: diagonal earlobe crease and atheromatous coronary. ([in Hebrew]) Harefuah. 2011.V.150.S.264–265.
15. Ramos, P.M., Gumieiro, J.H., Miot, H. A. Association between ear creases and peripheral arterial disease. //Clinics. 2010. V.65.S. 1325–1327.
16. Rodríguez-López, C., Garlito-Díaz, H., Madroñero-Mariscal, R. et al, Earlobe crease shapes and cardiovascular events.// Am J Cardiol. 2015.V.116.S. 286–293.
17. Shmilovich, H., Cheng, V.Y., Rajani, R. et al, Relation of diagonal ear lobe crease to the presence, extent, and severity of coronary artery disease determined by coronary computed tomography angiography.// Am. J. Cardiol. 2012. V.109.S.1283–1287.
18. Shrestha I., Ohtsuki, T., Takahashi, T., Nomura, E., Kohriyama, T., Matsumoto, M. Diagonal ear-lobe crease is correlated with atherosclerotic changes in carotid arteries. //Circ J. 2009.V.73. S.1945–1949.
19. Trieu N., Eslick G. D. Alopecia and its association with coronary heart disease and cardiovascular risk factors: a meta-analysis. //Int. J. Cardiol. 2014.V.176.S. 687–695.

© Ахмедханов Сейпула Шапиевич ( saip@mail.ru ), Абдуллаева Барият Сайпулаевна ( bariyat0227@mail.ru ), Саидова Заира Магомедовна ( zaira.saidova.2019@bk.ru ), Агмадова Зарина Магомедовна ( agmzar@mail.ru ), Эзиляева Мадина Рурухмановна ( eziljaeva.m@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Дагестанский государственный медицинский университет

## ОЦЕНКА РОЛИ ПОЛОВЫХ ГОРМОНОВ В РАЗВИТИИ ИНФАРКТА МИОКАРДА У ЖЕНЩИН В ПОСТМЕНОПАУЗЕ

### EVALUATION OF THE ROLE OF SEX HORMONES IN THE DEVELOPMENT OF MYOCARDIAL INFARCTION IN POSTMENOPAUSAL WOMEN

**A. Beibalaeva  
M. Kudaev  
T. Gadjeva**

*Summary.* The article presents the results of a study of the level of sex hormones (estradiol and progesterone) and blood lipids in women with postmenopausal myocardial infarction and the relationship of these indicators. It was established that postmenopausal women with myocardial infarction have lower concentrations of estradiol and progesterone in comparison with the control group, and there are also changes in the blood lipid spectrum. The levels of estradiol and progesterone are inversely correlated with the concentration of cholesterol, low density lipoproteins and triglycerides. The highest statistically significant correlation was observed between the concentration of estradiol and triglycerides in blood serum ( $R = -0.474$ ,  $p = 0.046$ ). The revealed results confirm the point of view on the protective effect of sex hormones in the development of coronary artery disease.

*Keywords:* myocardial infarction, estradiol, progesterone, lipids, postmenopause.

**Бейбалаева Амина Мусаибовна**

Ассистент, Дагестанский государственный  
медицинский университет, Махачкала  
89288350200@mail.ru

**Кудаев Магомед Тагирович**

Д.м.н., профессор, Дагестанский государственный  
медицинский университет, Махачкала  
kudaev54@mail.ru

**Гаджиева Тутубича Абдурахмановна**

Д.м.н., профессор, Дагестанский государственный  
медицинский университет, Махачкала  
tami2006@yandex.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследования уровня половых гормонов (эстрадиола и прогестерона) и липидов крови у женщин с инфарктом миокарда в постменопаузе и изучена взаимосвязь этих показателей. Установлено, что у женщин с инфарктом миокарда в постменопаузе отмечаются более низкие концентрации эстрадиола и прогестерона в сравнении с группой контроля, а также имеются нарушения в липидном спектре крови. Уровни эстрадиола и прогестерона имеют обратную корреляционную связь с концентрацией холестерина, липопротеидов низкой плотности и триглицеридов. Наибольшая статистически значимая корреляционная зависимость отмечена между концентрацией эстрадиола и триглицеридов в сыворотке крови ( $R = -0,474$ ,  $p = 0,046$ ). Выявленные результаты подтверждают точку зрения о протективном влиянии половых гормонов в развитии ИБС.

*Ключевые слова:* инфаркт миокарда, эстрадиол, прогестерон, липиды, постменопауза.

### Введение

**Р**иск развития ишемической болезни сердца (ИБС) у женщин в период постменопаузы растет [1]. Одним из возможных объяснений значительного роста заболеваемости ИБС в данной возрастной группе является нарушение гормонального фона, в частности, снижение уровня эстрогенов и прогестерона в менопаузе [2,3]. Научные исследования, посвященные изучению данного вопроса, довольно противоречивы [2,3,4].

Большинство научных данных подтверждают протективный эффект половых гормонов в развитии ИБС [4,5,6]. Так, в исследовании, проведенном в Дании у 4600 женщин, установлено, что низкий уровень эстрадиола повышает риск развития ИБС на 44,0% [4]. Эстрогены замедляют развитие атеросклероза [5], ингибируют окисление липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) [6], регулируют

функцию эндотелия, препятствуя ремоделированию сосудистой стенки [7]. Значимость прогестерона в снижении риска ИБС заключается в его влиянии на процессы реполяризации в миокарде путем модуляции синтеза оксида азота [8] и способности уменьшать выраженность воспаления [9], что важно для реализации защитного эффекта против ишемического поражения. В то же время, за последние два десятилетия, кардиопротективные эффекты эстрогенов были поставлены под сомнение. В таких исследованиях, как Women's Health Initiative [10] и The Heart and Estrogen- progestin Replacement Study [11] назначение заместительной гормональной терапии эстрогенами показало увеличение риска сердечно — сосудистых событий, что было связано с их тромбогенными эффектами.

Отсутствие единой точки зрения на вопрос о влиянии половых гормонов на риск развития ИБС у женщин в постменопаузе делает проведение новых исследований

Таблица 1. Лабораторно — инструментальная характеристика женщин в постменопаузе с диагнозом ИМ (I группа)

Показатель	Женщины
ИМТ*	29,9±3,8
Глюкоза, ммоль/л	6,8±2,2
Гемоглобин, г/л	122,0±6,4
Тропонин I, нг/мл	1,21±1,8
Креатинин, мкмоль/л	89,0 ±3,8
СКФ**, мл/мин/1,73, м <sup>2</sup>	72,0±8,5
ЧСС	82,0±5,1
Среднее АД, мм.рт.ст.	135±7,2
Фракция выброса ЛЖ***,%	52±4,4

\*ИМТ — индекс массы тела, \*\*СКФ — скорость клубочковой фильтрации, \*\*\*ЛЖ — левый желудочек.

в данном направлении актуальным. Особенный интерес, на наш взгляд, представляет изучение баланса половых гормонов в постменопаузе у женщин с подтверждённым диагнозом инфаркта миокарда (ИМ).

### Цель исследования

Провести сравнительный анализ и оценить взаимосвязь уровня половых гормонов и показателей липидного спектра у женщин с ИМ в постменопаузе.

### Материалы и методы

В исследование были включены 36 женщин (I группа), которые проходили лечение в инфарктном отделении Республиканской клинической больницы скорой медицинской помощи г. Махачкалы, в период с 1.03.2018 г. по 30.06.2019 г. с подтверждённым диагнозом ИБС, инфаркт миокарда. Возраст обследованных составил  $59,2 \pm 0,7$  лет. Все женщины I группы находились в постменопаузе, возраст наступления которой составил в среднем  $53,0 \pm 8,1$  г. В группу контроля вошли 20 здоровых женщин в постменопаузе (II группа), средний возраст составил  $58,1 \pm 0,6$  лет. Возраст наступления менопаузы во II группе составил  $54,2 \pm 7,1$ . Сравнимые группы (I и II) не имели статистически значимых различий по возрасту ( $p > 0,05$ ).

На всех обследованных заполнялась индивидуальная регистрационная карта пациента, в обеих группах проводили стандартные лабораторные исследования, в том числе определяли уровни липидов (холестерина (ХС), липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), триглицеридов (ТГ)). Методом иммуноферментного анализа оценивался уровень половых гормонов (эстрадиола, прогестерона) в нг\мл.

Инструментальные методы обследования включали ЭКГ, ЭхоКГ, коронарографию (КАГ). КАГ проводилась

на ангиографической установке Innova 4100 (GE, Германия). Оценивали варианты поражения коронарных артерий (КА): одно-, двух- и трехсосудистое. Сужение КА оценивали как гемодинамически значимое при стенозе  $\geq 60\%$ .

Для оценки статистической связи между показателями уровня половых гормонов у женщин с ИМ и показателями липидного спектра (ХС, ХС ЛПНП, ХС ЛПВП, ТГ) применили метод корреляционного анализа по Спирмену. Корреляционная связь между величинами оценивалась как слабая при значениях коэффициента корреляции менее 0,3, от 0,3 до 0,69 — как связь средней силы, при коэффициенте корреляции более 0,7 — как сильная.

Статистическая обработка проводилась с использованием пакета прикладных программ «Statistica 6.0». Для оценки достоверности различий между средними значениями показателей сопоставляемых групп ( $M \pm m$ , где  $M$  — среднее значение,  $m$  — стандартная ошибка средней) применяли t-критерий Стьюдента. Достоверными считали различия на уровне значимости  $p < 0,05$ .

### Результаты

Женщины в постменопаузе ( $n=36$ ), госпитализированные с диагнозом ИБС ИМ, проходили стандартные лабораторно-инструментальные исследования на базе инфарктного отделения Республиканской клинической больницы скорой медицинской помощи г. Махачкалы. Данные представлены табл. 1.

Инфаркт миокарда с формированием зубца Q был диагностирован у 15 (41,7%) женщин, не Q- инфаркт у 21 (58,3%).

Для определения распространенности поражения КА, у обследованных женщин с ИМ (I гр,  $n=36$ ) проведен анализ коронарограмм, который показал, что атеро-

Таблица 2. Концентрации половых гормонов (нг/мл) в сыворотке крови у женщин в постменопаузе с инфарктом миокарда (I) в сравнении с группой контроля (II)

Показатель (нг/мл)	I группа (больные ИМ, n=36)	II (группа контроля) (n=20)	P
Эстрадиол	44,74±3,17	54,33±2,7	P<0,05
Прогестерон	0,67±0,43	0,75±0,61	P>0,05

Таблица 3. Уровень липидов крови у женщин с инфарктом миокарда (I гр.) и в группе контроля (II гр.)

(ммоль/л)	группа (женщины с ИМ, n=36)	(здоровые лица, n=20)	
Общий холестерин	,8 ± 0,1	,7 ± 0,10	,131
Триглицериды	,4 ± 0,18*	,6 ± 0,32	,022
ХС — ЛПНП	,4 ± 0,18*	,2 ± 0,72	,047
ХС — ЛПВП	,0 ± 0,19	,1 ± 0,03	,119

\* — различия статистически значимы

склеротический процесс носил распространенный характер, чаще имело место многососудистое поражение коронарного русла — в 56,6% случаев. Изолированное поражение одной из коронарных артерий наблюдалось лишь в 20,7%, две коронарные артерии были поражены у 22,7% женщин. Правый тип коронарного кровотока (ККО) наблюдался в 91,3% случаев, сбалансированный в 8,7%. Левый тип ККО у обследованных женщин не был выявлен. Полученные результаты согласуются с преобладающим большинством научных данных по данному вопросу [12], хотя имеется и противоположная точка зрения. Так, в исследовании А. Ю. Анищенко, 2006 г. утверждается о доминировании сбалансированного типа ККО у женщин с ИБС.

По данным когортных исследований, большинство факторов риска ИБС и ИМ общие для мужчин и женщин [13], но существует уникальный женский фактор риска развития и прогрессирования ССЗ — естественное физиологическое состояние женского организма — менопауза.

Для изучения роли половых гормонов в развитии ИМ у обследованных женщин с ИМ (I гр.; n = 36) проведена оценка концентраций эстрадиола и прогестерона в сыворотке крови. В Группу контроля были включены 20 здоровых женщин без признаков ИБС (II гр.; n = 20). Результаты представлены в табл. 2.

Как видим, у женщин в постменопаузе с подтвержденным диагнозом ИМ (I гр.) уровень половых гормонов был ниже в сравнении с группой контроля (II гр.). Концентрация эстрадиола в I гр. на 21,3% была статистически значимо (p<0,05) меньше, чем в контрольной (II гр.). Концентрация прогестерона у больных женщин (I гр.) была ниже, чем в группе контроля на 10,7%, одна-

ко выявленные различия не имели статистической значимости (p>0,05). Полученные данные подтверждаются рядом научных публикаций, в которых установлена защитная роль половых гормонов [4,14].

В табл. 3 представлены результаты сравнительного анализа показателей липидного спектра в группе больных женщин с ИМ (I гр.) в сравнении с группой контроля (II гр.).

Как свидетельствуют данные табл. 3, уровни ХС, ТГ, ЛПНП были выше в группе больных женщин с ИМ (I гр., n=36) в сравнении с группой контроля, при этом статистически значимое превышение отмечалось по уровню ТГ (p=0,013) и ХС — ЛПНП (p=0,026). Выявленные особенности согласуются с результатами научных исследований, в которых определена важная роль повышения уровня ТГ в патогенезе женской ИБС [15,16,17].

Среди множества предполагаемых механизмов, с помощью которых эндогенные эстрогены могут защищать от ССЗ, выделяют положительное влияние эстрадиола на липидный профиль плазмы [18,19]. В связи с этим в рамках настоящего исследования проведен корреляционный анализ между уровнем эстрадиола и показателями липидного обмена (ХС, ХС ЛПНП, ХС ЛПВП) в группе обследованных больных (I гр.; n =36). Установлено, что показатели эстрадиола в сыворотке крови у женщин в постменопаузе с ИМ имели статистически значимую обратную корреляционную связь с концентрациями ТГ (r= -0,47; p=0,046). Между показателями эстрадиола и холестерина в сыворотке крови (r= - 0,24; p=0,064), а также между показателями эстрадиола и значениями ХС ЛПНП (r= - 0,26; p=0,072) корреляционная зависимость также была отрицательной, но слабой и статистически недостоверной. Корреляционная зависимость

между значениями прогестерона у женщин с ИМ и изучаемыми показателями липидного обмена была слабой, отрицательной, статистически незначимой ( $p > 0,05$ ). Установление статистически значимой средней силы обратной корреляционной зависимости между уровнем эстрадиола и триглицеридов в сыворотке крови у обследованных женщин с ИМ, находящихся в постменопаузе, не позволяет утверждать однозначно о наличии причинно-следственной связи между этими показателями. Возможно, что дальнейшие исследования выявленных закономерностей на более обширном статистическом материале позволят сделать более основательные выводы.

На основании результатов настоящего исследования были сделаны следующие выводы:

1. У женщин с ИМ в постменопаузе отмечался более низкий уровень половых гормонов (эстрадиол, прогестерон) в сравнении с группой контроля;
2. У женщин с ИМ в постменопаузе имелись нарушения в липидном спектре крови — статистически значимое снижение уровня триглицеридов и ХС ЛПНП в сравнении с группой контроля ( $p < 0,05$ );
3. Показатели эстрадиола в сыворотке крови у женщин в постменопаузе с ИМ имели статистически значимую обратную корреляционную связь с концентрациями ТГ ( $r = -0,47$ ;  $p = 0,046$ );

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Perk J., De B. G., Gohlke H., et al. European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). The Fifth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts) // *Eur Heart J.* — 2012. — № 33. — P.1635–1701.
2. Dubey R.K., Imthurn B., Zacharia L. C., Jackson E. K. Hormone replacement therapy and cardiovascular disease: what went wrong and where do we go from here? // *Hypertension.* — 2004. — № 44. — P.789–795.
3. Orshal J.M., Khalil R. A. Gender, sex hormones, and vascular tone // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* — 2004. — № 286. — P. R233–R249
4. Benn M., Voss S. S., Holmegard H. N., Jensen G. B., Tybjaerg-Hansen A., Nordestgaard B. G. Extreme concentrations of endogenous sex hormones, ischemic heart disease, and death in women // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* — 2015. — № 35. — P.471–7.
5. Baler L., Meldrum K., Wang M. et al. The role of estrogen in cardiovascular disease // *J Surg Res.* — 2003. — № 115(2). — P.325–44.
6. Fischer M., Baessler A., Schunkert H. Renin angiotensin system and gender differences in the cardiovascular system // *Cardiovasc Res.* — 2002. — № 53(3). — P.672–7.
7. Wenger N. Coronary heart disease: an older woman's major health risk // *BMJ.* — 1997. — № 315(7115). — P.1085–90.
8. Losert W., Casals-Stenzel J., Buse M. Progestogens with antiminerocorticoid activity // *Arzneimittelforschung.* — 1985. — № 35(2). — P.459–71
9. Dhote, V.V., Balaraman R. Gender specific effect of progesterone on myocardial ischemia/ reperfusion injury in rats // *Life Sci.* — 2007. — № 81(3). — P.188–97.
10. Rossouw J.E., Anderson G. L., Prentice R. L., et al. Risks and Benefits of Estrogen Plus Progestin in Healthy Postmenopausal Women: Principal Results From the Women's Health Initiative Randomized Controlled Trial // *JAMA.* — 2002. — № 288 (3). — P.321–33.
11. Hulley S., Grady D., Bush T., Furberg C., Herrington D., Riggs B., E. Randomized Trial of Estrogen Plus Progestin for Secondary Prevention of Coronary Heart Disease in Postmenopausal Women. Heart and Estrogen/progestin Replacement Study (HERS) Research Group // *JAMA.* — 1998. — № 280(7). — P.605–13
12. Koşar P, Erqun E, Öztürk C, et al. Anatomic variations and anomalies of the coronary arteries: 64-slice CT angiographic appearance // *Diagn Interv Radiol.* — 2009. — № 15(4). — P.275–83.
13. Гиляревский С. Р. Азбука вторичной профилактики ишемической болезни сердца. Тактика и стратегия лечения больных, перенесших острый коронарный синдром или инфаркт миокарда // *Сердце.* — 2002. — № 1(1). — С. 34–37
14. Colditz G.A., Willett W. C., Stampfer M. J., Rosner B., Speizer F. E., Hennekens C. H. Menopause and the risk of coronary heart disease in women // *N Engl J Med.* — 1987. — № 316. — P.1105–1110.
15. Masi S., Lautamaki R., Guiducci L. et al. Similar patterns of myocardial metabolism and perfusion in patients with type 2 diabetes and heart disease of ischaemic and nonischaemic origin // *Diabetologia.* — 2012. — № 55(9). — P.2494–500
16. Gori T., Fineschi M. Two coronary «orphan» diseases in search of clinical consideration: coronary syndromes x and y // *Cardiovasc Ther.* — 2012. — № 30(2). — P. e58–65
17. Nakazato R., Dey D., Cheng V. Y. et al. Epicardial fat volume and concurrent presence of both myocardial ischemia and obstructive coronary artery disease. // *Atherosclerosis.* — 2012. — № 221(2). — P.422–6.
18. Мартынов А.И. и др. Особенности липидного профиля у женщин в период менопаузы, как фактор риска сердечно — сосудистых заболеваний // *Рос. мед. вестн.* — 2003. — Т. 2. — С. 22–27.
19. Сметник В. П. Системные изменения у женщин в климактерии // *Рус. мед. журн.* — 2001. — Т.9 (9). — С. 354–358.

© Бейбалаева Амина Мусаибовна ( 89288350200@mail.ru ),

Кудаев Магомед Тагирович ( kudaev54@mail.ru ), Гаджиева Тутубича Абдурахмановна ( tami2006@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ ПОЛОСТИ РТА У БЕРЕМЕННЫХ ЖЕНЩИН

## STUDY OF THE QUALITY OF INDIVIDUAL ORAL HYGIENE IN PREGNANT WOMEN

V. Zhurbenko  
A. Karlash  
E. Saakyan

*Summary.* Pregnancy is a critical period for a woman's dental health. After all, the level of health of the future child depends on it. Pregnant women have one of the highest risks of dental diseases. During this period, compliance with the rules of oral care for women is of particular importance. This article examines the quality of individual oral hygiene in pregnant women using the questionnaire method.

*Keywords:* pregnancy, oral hygiene.

**Журбенко Вероника Александровна**

ФГБОУ ВО Курский Государственный Медицинский  
Университет Минздрава России  
prepvermed@mail.ru

**Карлаш Анастасия Евгеньевна**

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО Курский Государственный  
Медицинский Университет Минздрава России

**Саакян Эльмира Сефтеровна**

ФГБОУ ВО Курский Государственный Медицинский  
Университет Минздрава России

*Аннотация.* Беременность является критическим периодом для стоматологического здоровья женщины. Ведь от него зависит и уровень здоровья будущего ребенка. Беременные женщины имеют один из самых высоких рисков возникновения стоматологических заболеваний.

Особое значение приобретает в этот период соблюдение правил ухода за полостью рта женщины. В данной статье исследовано качество индивидуальной гигиены полости рта у беременных женщин методом анкетирования.

*Ключевые слова:* беременность, гигиена полости рта.

## Введение

**Б**еременность — период жизни женщины, когда она должна уделять максимальное влияние своему здоровью, а в частности состоянию полости рта. Известно, что стоматологическое здоровье ребенка напрямую зависит от стоматологического здоровья матери.

Беременность характеризуется изменением особенностей течения многих заболеваний полости рта. Так, на ранних сроках увеличивается количество кариозных зубов, наблюдается изменение pH слюны. В этот период повышается патогенность флоры полости рта за счет усиления пролиферации условно-патогенных микроорганизмов [1,2].

Как известно, неблагоприятное воздействие на антенатальное и постнатальное развитие ребенка оказывают также и тяжёлые, длительно протекающие хронические заболевания матери. Сопутствующая патология является одним из главных факторов риска в возникновении заболеваний молочных зубов у детей в возрасте до 3-х лет, так как под влиянием этого фактора нарушается формирование всех тканей будущего зуба, а также обызвествление эмали и дентина [1].

Качество гигиены полости рта в период течения беременности является фактором риска в этиологии кариеса и заболеваний тканей пародонта.

Цель исследования — изучение качества гигиены полости рта у беременных женщин.

Материалы и методы. Для изучения качества индивидуальной гигиены, осведомленности и просвещенности в данном вопросе было проведено анкетирование беременных женщин.

## Результаты исследования и обсуждения

Для решения поставленной цели использовали специально разработанную анкету, которая содержала вопросы, позволяющие выявить и оценить знания о правилах и средствах индивидуальной гигиены полости рта.

В анкетировании приняли участие 87 беременных женщин в возрасте от 20 до 35 лет.

Все пациентки находились на разных сроках беременности. Распределение беременных женщин в зависимости срока беременности представлено в табл. 1.



Таблица 1. Распределение беременных по триместрам

триместр	Количество беременных женщин	
	абс. число	%
первый триместр	23	26,4
второй триместр	47	54
третий триместр	17	19,6

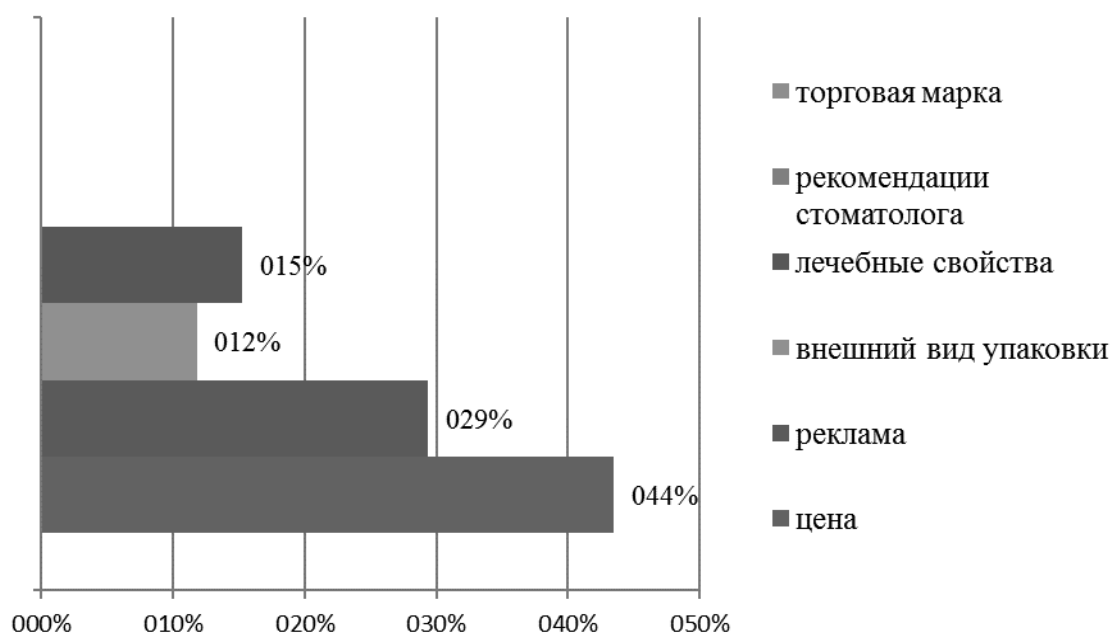


Рис. 1. Процентное распределение факторов, влияющих на выбор зубной пасты

У всех обследуемых пациентов проводили оценку гигиенического состояния полости рта с помощью индекса Федорова — Володкиной (1971 г.).

В результате исследования было выявлено, что у 63 (72,4%) опрошенных первая беременность, у 17 (19,5%) женщин — вторая беременность, а 7 (8,1%) беременны в третий или более раз.

Регулярная чистка зубов 2 раза в день является основой индивидуальной гигиены полости рта. Согласно результатам анкетирования, 2 раза в день чистит зубы большая часть опрошенных женщин (53), 29 человек чистит зубы ежедневно не менее 1 раза в день. Чаще 2 раз в день чистили зубы 3 женщины, а в двух случаях гигиена полости рта осуществлялась нерегулярно.

На современном рынке гигиенических товаров наблюдается большой выбор зубных щеток и паст.

Процентное распределение факторов, влияющих на выбор зубной пасты, представлено на рисунке 1. Так, для большинства женщин важна цена при покупке зубной пасты, также анкетированные отметили рекламную информацию, внешний вид упаковки, лечебные свойства, рекомендации стоматолога, торговая марка.

Более половины анкетированных (52%) готовы потратить на зубную пасту до 100 рублей, 35% покупают зубную пасту стоимостью до 200 рублей и 13% респондентов расходуют на покупку зубной пасты свыше 200 рублей. Это говорит о том, что в основном женщины приобретают товар по относительно низким и средним ценам, и лишь небольшая часть готова приобрести товар по наиболее высоким ценам.

Необходимо отметить, что 29% женщин ценят в зубной пасте такие потребительские свойства, как отбеливающий эффект, 17% — укрепляющий эффект, 27% —

защита от кровоточивости, а запах, вкус и цвет зубной пасты — 11%, 9% и 7% соответственно.

Одной из основных характеристик зубной щетки является ее жесткость. Только 7 женщин использовали щетки согласно рекомендации стоматолога. Щетки со средней жесткостью использовали 70, жесткие — 7, а мягкие — 3 женщины.

Важным моментом в осуществлении гигиены полости рта является частота замены зубной щетки. При условии использования качественной зубной щетки срок ее службы составляет 1–2 мес, при более длительном употреблении теряется упругость ворсинок и соответственно снижается ее очищающая способность. Другим аспектом является высокая микробная загрязненность щетины. Результаты анкетирования показали, что большая часть опрошенных (72 человек) меняют щетки 1 раз в полгода и реже и только 15 женщин — каждые 1–2 мес. Эти данные отражают недостаточную информированность опрашиваемых в этом вопросе, влекущую за собой снижение качества чистки зубов.

В ходе исследования было выявлено, что у большинства беременных женщин индекс гигиены составил  $2,95 \pm 0,16$  балла, при этом только 12% женщин имели хорошее состояние полости рта.

Также было отмечено, что с увеличением срока беременности увеличивается, и индекс гигиены и достигает значений  $3,17 \pm 0,15$  балла.

Надо отметить, что, что 24,3% женщин отметили наличие зубного налета и кровоточивости десен, 18,5% — указали возникновение кариеса в связи с беременностью, и 16,7% испытывают потребность в замене ранее поставленных пломб.

Необходимым условием поддержания стоматологического здоровья является регулярное посещение

стоматолога. Кратность посещений определяется врачом-стоматологом, но обычно обследования проводятся 2 раза в год. В целом до беременности 1 раз в год посещали стоматологическое учреждение 46,1% обследованных женщин, 2 раза в год — 14,9%, остальные 38% с профилактической целью не обращались.

Результат опроса показал, что большая часть опрошенных (51 женщина) посещала стоматолога только при появлении неприятных ощущений.

Для осуществления гигиены полости рта на рынке гигиенических товаров имеется довольно большой выбор дополнительных предметов и средств по уходу. В связи с этим было интересно узнать, пользуются ли ими женщины, и какие из них используются наиболее часто. Результаты опроса показали, что 57 женщин не пользуются дополнительными предметами и средствами ухода за полостью рта, 30 — пользуются, при этом наиболее часто применяются зубочистки и зубные нити (флоссы), реже — эликсиры.

После проведенного анкетирования всем пациентам было проведено индивидуальное обучение гигиене полости рта с контролем качества гигиенической очистки зубов.

### ВЫВОДЫ

Состояние стоматологического здоровья беременной женщины влияет на зубочелюстную систему ребенка. Таким образом, соблюдая правила индивидуальной гигиены полости рта, женщина заботится о здоровье будущего ребенка. Однако, несмотря на множество представленных средств для гигиены полости рта, большинство беременных женщин не уделяют должного внимания знаниям о них. В этой связи, главную роль в обучении должны играть врачи-стоматологи [3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольская, П. Э. Профилактика стоматологических заболеваний в современном обществе / П. Э. Добровольская, А. С. Ковалёва // Международный журнал экспериментального образования. — 2015. — № 11–6. — С. 840–847.
2. Журбенко, В. А. Гигиена полости рта как метод профилактики заболеваний пародонта / В. А. Журбенко, Э. С. Саакян // Актуальные проблемы и достижения в медицине. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — № 2. — Самара. — 2015 г. — С. 152–154 с.
3. Профилактика стоматологических заболеваний у беременных — основа стоматологического здоровья детей раннего возраста / В. А. Журбенко, Э. С. Саакян, Д. С. Тишков // Международный журнал экспериментального образования. — 2015. — № 3–5. — С. 582–583.

© Журбенко Вероника Александровна ( prepvermed@mail.ru ),

Карлаш Анастасия Евгеньевна, Саакян Эльмира Сефтеровна.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

### FLUORESCENT DIAGNOSTICS IN CLINICAL PRACTICE

**K. Korchagina  
S. Gamayunov  
S. Ivanov**

*Summary.* Fluorescence diagnostics is a non-invasive and sensitive diagnostic tool for planning and evaluating treatment outcomes in oncology. The method makes it possible to obtain images of pathological lesions invisible in white light, helps to identify relapses in the early stages, monitor photodynamic therapy and predict its effectiveness. The article presents the main directions of the use of fluorescence diagnostics in clinical practice.

*Keywords:* fluorescence diagnosis, photosensitizer, fluorescence contrast, photobleaching, monitoring.

**Корчагина Ксения Сергеевна**

Соискатель, МРНЦ им А. Ф. Цыба — филиал ФГБУ  
«НМИЦ радиологии»  
Минздрава России (Обнинск)  
Ksenija-korchagina@rambler.ru

**Гамаюнов Сергей Викторович**

К.м.н., МРНЦ им А. Ф. Цыба — филиал ФГБУ «НМИЦ  
радиологии» Минздрава России (Обнинск)  
Gamajnovs@mail.ru

**Иванов Сергей Анатольевич**

Д.м.н., профессор РАН, директор, МРНЦ имени  
А. Ф. Цыба — филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России (Обнинск)  
oncurolog@gmail.com

*Аннотация.* Флуоресцентная диагностика — это неинвазивный и чувствительный диагностический инструмент для планирования и оценки результатов лечения в онкологии. Метод дает возможность получать изображение невидимых в белом свете патологических очагов, помогает выявлять рецидивы на ранних сроках, проводить мониторинг фотодинамической терапии и прогнозировать ее эффективность. В статье представлены основные направления использования флуоресцентной диагностики в клинической практике.

*Ключевые слова:* флуоресцентная диагностика, фотосенсибилизатор, флуоресцентная контрастность, фотовыгорание, мониторинг.

### Введение

**Ф**луоресцентная диагностика (ФД) известна медицине с 40-х гг. XX в. (Auler H., 1942). Однако, в целом методы ФД получили широкое распространение в клинической практике лишь в конце XX вв. Определяющую роль в этом процессе сыграли синтез новых химически однородных фотосенсибилизаторов (ФС) с большими показателями селективности и разработка удобных в эксплуатации спектральных оптических и других диагностических приборов (Лощенов В.Б., 2013), (Ярославцева-Исаева Е.В., 2018), (Филоненко, 2014).

В основе метода лежит регистрация непродолжительного свечения вещества (флуорофора), возникающего после поглощения им светового излучения. Различают аутофлуоресценцию или эндогенную флуоресценцию, когда в качестве флуоресцирующих агентов выступают эндогенные молекулы (аминокислоты,

гемоглобин и др.), и экзогенную флуоресценцию, суть которой заключается во введении больному веществ — (ФС). Аутофлуоресценция не является темой данного обзора. ФД может выполняться как самостоятельный диагностический метод, так и в сочетании с фотодинамической терапией (ФДТ).

Благодаря способности ФС селективно накапливаться в злокачественных новообразованиях относительно окружающих здоровых тканей создается флуоресцентный контраст, достоверное детектирование которого и составляет основную задачу диагностического метода.

Флуоресцентная диагностика (ФД) с целью определения объема опухолевого поражения довольно широко используется в клинической практике (Филоненко Е.Ф., 2012)(Xiao Q, 2018). Другим, менее изученным направлением использования ФД, является мониторинг и планирование ФДТ.

## 1. Физические основы флуоресцентной диагностики

### 1.1. Взаимодействие фотонов с биотканью

Излучение, используемое при ФД, захватывает интервал от 400 до 900 нм, что соответствует видимой и ближней инфракрасной частям спектра (Kwiatkowski S., 2018). При прохождении электромагнитного излучения через среду световая энергия может рассеиваться или поглощаться.

Рассеяние света внутри тканей зависит от количества и размеров ее клеточных структур, а также других компонентов, обладающих различными показателями преломления.

Поглощение заключается в частичном переходе световой энергии в другие виды энергии или в оптическое излучение с другими спектральными характеристиками.

Основными поглотителями в биологических тканях являются вода и макромолекулы (белки, меланин, гемоглобин). К экзогенным хромофорам, относятся ФС, которые могут выступать как в роли диагностических, так и терапевтических агентов. Отсутствие сильных эндогенных молекул — хромофоров, поглощающих свет в интервале между 600 нм и 1200 нм, определяет границы «терапевтического окна», оптимального для проведения ФДТ и ФД (Mallidi S., 2016).

Распределение фотонов флуоресцентного излучения, возникающего в ходе фотохимических реакций, внутри биоткани подчиняется основным принципам, справедливым для падающего (возбуждающего) лазерного света (Лысенко, 2018). Следовательно, важными особенностями, которые влияют на измерение флуоресценции, являются: ослабление света по мере прохождения от глубоких слоев к поверхностным, наличие эндогенных флуорофоров, которые вызывают аутофлуоресценцию, поглощение, рассеяние, отражение света.

Понимание физики взаимодействия света с тканью требует сложного экспериментального и компьютерного моделирования для коррекции искажающего влияния оптических свойств. Это крайне важно при разработке оборудования и методик проведения ФД.

### 1.2. Основы генерации флуоресценции

Молекулы ФС, накопленные в ткани, являются флуорофорами, т.е. они способны не только к поглощению света, но и к излучению световой энергии. При этом длина волны лазерного излучения должна совпадать с пи-

ком поглощения используемого препарата (Kwiatkowski S., 2018).

Основное состояние молекулярных систем, характеризующееся наименьшей энергией и наибольшей стабильностью, — синглетное (S0). При поглощении одного фотона света молекула фотосенсибилизатора переводится в возбужденное синглетное состояние более высокого энергетического уровня, 1S\* (Chilakamarthi U., 2017). Система в состоянии 1S\* нестабильна и может инициировать фотохимические реакции или подвергаться межсистемному переходу в триплетное состояние, 3T\*. Молекула от возбужденного состояния 1S\* или 3T\* может возвращаться к S0 посредством безызлучательного распада и генерации тепловой энергии или избавляться от избыточной энергии, испуская световое излучение.

Возвратившись в исходное состояние, ФС способны повторно вступать в химические реакции после поглощения нового кванта световой энергии. Однако после некоторого числа циклов флуорофор утрачивает способность участвовать в фотодинамической реакции. Этот эффект называется фотообесцвечиванием, или фотобликинг.

Спектр флуоресценции, возникающей в результате S1→S0 перехода ФС, сдвинут относительно спектра поглощения в длинноволновую область.

Известно наличие определенной взаимосвязи в количественном распределении энергии поглощенных фотонов между излучательными процессами и реализацией фотодинамических реакций с образованием фотопродуктов. Однако следует отметить, что вышеуказанные процессы не являются линейными и вклад каждого из них может варьировать.

## 2. Методы получения флуоресцентных изображений

Для реализации ФД в клинической практике используется два подхода: использование точечных регистраторов и цифровых камер (Herman, 2012). На данный момент существует несколько доступных установок российского производства, работающих по этим технологиям. Каждый из предложенных подходов для ФД имеет свои недостатки и преимущества. Так, например, точечная регистрация флуоресценции может регистрировать достаточно точные данные уровня флуоресценции, но не позволяет оценить границы опухоли и учитывать гетерогенность опухолевой ткани. В связи с этим, для получения достоверных результатов требуются множественные измерения в не-

скольких точках, что существенно усложняет диагностическую процедуру.

Системы, использующие камеру в качестве детектора, лишены вышеназванного недостатка. Однако регистрация только флуоресцентного изображения в свою очередь ухудшает качество этих изображений и, соответственно, не позволяет проводить достоверную количественную оценку.

К сожалению, следует отметить отсутствие на рынке оборудования для флуоресцентной диагностики, отвечающего всем требованиям эффективного клинического использования. Для успешной разработки алгоритмов расчета параметров светового воздействия на основании данных флуоресценции система должна сочетать следующие характеристики: точность и воспроизводимость получаемых результатов, возможность оценки параметров флуоресценции в режиме реального времени, возможность учета гетерогенности опухоли и окружающей здоровой ткани, легкость в интерпретации получаемого изображения и получаемых данных, относительно низкая себестоимость такой системы.

### 3. Определение границ для хирургии и биопсии

Визуализация границ опухолевого процесса для соблюдения радикальности хирургического вмешательства, выявление клинически не детектируемых очагов и навигация для прицельной биопсии составляют основную пласт показаний для проведения ФД.

Доступность анатомического расположения и высокая частота встречаемости злокачественных новообразований кожи (Shelton M. E., 2019) явились предпосылками к их активному изучению методом флуоресцентной диагностики. Основными задачами является уточнение границ поражения, выявление скрытых очагов, в том числе рака *in situ* и других облигатных предраковых состояний (Narayanamurthy V., 2018).

ФД активно применяется в нейрохирургической практике. Интраоперационная флуоресцентная диагностика у пациентов с глиомами позволяет эффективно выявлять зоны хирургического интереса (Stummer W., 2017). Некоторые исследования демонстрируют достоверно значимые различия уровня флуоресценции в зависимости от гистологической степени злокачественности новообразований головного мозга (Akimoto J., 2019).

Известно, что рак мочевого пузыря характеризуется высоким риском внутривезикулярного рецидива после

трансуретральных резекций (ТУР). Таким образом, динамическое наблюдение с использованием методик, позволяющих оценить полноту ТУР и выявлять опухоль на ранних этапах развития, особенно актуальны (Bochenek K., 2019).

ФД — эффективный, недорогой метод, позволяющий повысить чувствительность кольпоскопического исследования. Отдельные исследования демонстрируют близкую к 100% чувствительность и 77% специфичность при выявлении участков дисплазии эпителия шейки матки (Grant B. D., 2015).

В отличие от других методов визуализации, таких как ПЭТ, МРТ, компьютерная томография и т.д., ФД является поверхностно-чувствительным методом, однако позволяет детектировать даже незначительные по объему поражения.

Использование флуоресцентной визуализации в качестве диагностического инструмента позволяет повысить чувствительность стандартных методик, увеличить радикальность хирургических вмешательств и в конечном итоге привести к увеличению показателей выживаемости и качества жизни (Tirirneni K. E., 2017).

### 4. Флуоресцентная диагностика для планирования и мониторинга фотодинамической терапии

Фотодинамическая терапия является одним из высокотехнологичных методов современной медицины (Agostinis P., 2011), основанном на цитотоксическом действии активных форм кислорода, генерирующихся при взаимодействии фотосенсибилизатора, селективно накопившегося в опухолевой ткани, со светом определенной длины волны.

Безусловными преимуществами метода являются: селективная деструкция патологических очагов, отсутствие лимитирующих кумулятивных доз фотосенсибилизатора и светового воздействия и хорошие косметические результаты.

К числу недостатков метода относятся ограниченная глубина терапевтического воздействия и эмпирический характер подбора режимов лазерного воздействия без учета различий в фармакокинетике ФС и оптических свойствах тканей (Middelburg T. A., 2015). Более того, при проведении ФДТ в облучаемой ткани происходит много сложно прогнозируемых фотофизических, метаболических и молекулярных изменений. Это означает, что одни и те же параметры терапевтического воздействия могут приводить в конечном счете к различным результатам лечения (James N. S., 2018).

В качестве инструмента мониторинга и средства обеспечения обратной связи — реакции на лечение — наиболее развитым и легко доступным методом является измерение уровня флуоресценции.

Несомненно, кроме мониторинга фотодинамических реакций большой интерес представляет связь полученных данных флуоресцентной диагностики с клиническими результатами.

Описанные механизмы генерации флуоресценции позволяют по ее уровню косвенно судить о концентрации ФС в биологической ткани (Лощенов В.Б., 2013). Оценка накопления препарата до лечения с определением величины контрастности опухоль/норма играет важную роль в определении оптимального времени начала процедуры.

По мере прохождения фотодинамических реакция происходит уменьшение уровня флуоресценции фотосенсибилизатора (фотоблилинг). Считается, что основную роль в данном процессе играет молекулярный кислород, который приводит к необратимым фотоокислительным модификациям ФС и потере способности флуорофора флуоресцировать (James N.S., 2018). С этой точки зрения показатель фотовыгорания может служить суррогатным маркером динамики синглетного кислорода, а следовательно, коррелировать с эффективностью прохождения фотодинамических реакций.

Целый ряд экспериментальных и клинических работ продемонстрировал актуальность исследования уровня флуоресценции в качестве предиктивного маркера ответа опухоли на ФДТ.

Ascencio M. и соавт. (Ascencio M., 2008) изучали корреляцию фотоблинга протопорфирина IX с выраженностью тканевого ответа после проведения ФДТ с гексаминолевуленатом (HAL-PDT) на модели рака яичника NuTu 19. Выраженное выгорание протопорфирина IX соответствовало хорошему ответу опухоли на воздействие (некроз 3–4), в то время как при отсутствии выгорания отмечали слабый ответ (некроз 0–2) ( $P < 0.05$ ).

Voere I. A. и соавт. при изучении эффективности ФДТ с 5-ALA при пищеводе Барретта (Barrett's esophagus (BE)) на крысиных моделях выявили выраженную гетерогенность показателей фотоблинга протопорфирина IX. Сообщается о корреляции выраженного фотоблинга с абляцией предопухолевых тканей. В тоже время, при отсутствии выгорания протопорфирина IX в процессе лазерного воздействия повреждения эпителия не наблюдалось. На основании полученных данных авторы делают вывод о возможности использования кинетики фотоблинга в качестве предиктора

тканевого ответа на проведение ALA-PDT (Voere, и др., 2006).

Небольшая клиническая работа была проведена Kate C. Blanco и коллегами (Blanco K.C., 2015) и включала 8 пациентов с базальноклеточным раком кожи. При анализе результатов показана корреляция неполного ответа опухоли на лечение с низкими уровнями накопления PpIX до лечения ( $p = 0,0153$ ). Данное исследование отмечает предиктивную роль накопления ФС в отношении результатов лечения.

Sharwani A и соавт. оценивали использование метода флуоресцентной визуализации для мониторинга концентрации протопорфирина IX (PpIX) на модели базальноклеточного рака кожи (Sharwani A., 2014). Результаты также продемонстрировали роль показателя флуоресценции до воздействия как предиктивного маркера эффективности.

В исследовании, проведенном Brian W. Pogue продемонстрирована зависимость кинетики фотовыгорания от режимов облучения. Так, фракционированное лазерное воздействие света через 1-минутные интервалы увеличивало фотообесцвечивание в ткани пищевода Барретта человека на 25% больше, в сравнении со стандартным непрерывным ( $p < 0,001$ ) (Pogue B.W., 2008).

Существуют исследования, результаты которых не подтвердили предиктивной роли параметров флуоресценции в отношении результатов ФДТ. Среди них — экспериментальная работа на мышах BALB/c с имплантированной опухолью молочной железы EMT6 (Baran T.M., 2012). При анализе результатов эффективности лечения не было обнаружено корреляции между временем удвоения объема опухоли и фотовыгоранием. При этом скорость фотообесцвечивания была быстрее при плотности мощности 150 в сравнении с 50 мВт / см<sup>2</sup> ( $p < 0,1$ ), что является обратным отражением тенденции, наблюдаемой в большинстве аналогичных работ. Результаты данного исследования подчеркивают сложность дозиметрии на основе параметров флуоресценции и необходимость их оценки для каждого фотосенсибилизатора отдельно.

Таким образом, большинство авторов отводят ФД значимую роль в возможности дозиметрии и мониторинге ФДТ и оптимизации ее режимов, а в качестве предиктора неэффективности лечения называют низкие значения флуоресцентной контрастности и фотовыгорания. Безусловно, изучение флуоресцентной контрастности и фотовыгорания как суррогатных дозиметрических и прогностических маркеров эффективности ФДТ является интересным и актуальным направлением. Однако для подтверждения взаимосвязи этих параметров

с эффективностью ФДТ требуется организация новых исследований при адекватно спланированном протоколе.

### Заключение

ФД — зарекомендовала себя как эффективный и чувствительный диагностический инструмент для планирования и оценки результатов лечения в онкологии. Среди преимуществ метода — неинвазивный, а часто и бескон-

тактный, характер, относительно невысокая стоимость, простота и скорость выполнения.

Дальнейшее совершенствование метода ФД может быть связано с поиском новых ФС, обладающих более высокой селективностью и фотоактивностью, опухолетропностью, способностью к возбуждению в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, создание новой и совершенствование уже разработанной диагностической аппаратуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Agostinis P, Berg K., Cengel K. A., Foster T. H., Girotti A. W., Gollnick S. O. Photodynamic therapy of cancer: an update [Статья] // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. — Jul-Aug 2011 r. — 4: T. 61. — стр. 250–281.
2. Akimoto J, Fukami S., Ichikawa M., Mohamed A., Kohno M. Intraoperative Photodiagnosis for Malignant Glioma Using Photosensitizer Talaporfin Sodium. [Статья] // *Front Surg*. — Mar 2019 r. — 12: T. 6.
3. Ascencio M [и др.] Protoporphyrin IX fluorescence photobleaching is a useful tool to predict the response of rat ovarian cancer following hexaminolevulinic acid photodynamic therapy. [Журнал] // *Lasers Surg Med*. — Jul 2008 r. — 5: T. 40. — стр. 332–41. — doi: 10.1002/lsm.20629.
4. Auler H, Banzer G. [Статья] // *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*. — 1942 r. — 65: T. 53.
5. Baran T. M., Foster T. H. Fluence rate-dependent photobleaching of intratumorally administered Pc 4 does not predict tumor growth delay [Статья] // *Photochem Photobiol*. — 2012 r. — 5: T. 88. — стр. 1273–1279.
6. Blanco K. C., Moriyama L. T., Inada N. M., S6lvio A. G., Menezes P. F. C., Leite E. J. S., Kurachi C., Bagnato V. S. Fluorescence guided PDT for optimization of the outcome of skin cancer treatment [Статья] // *Front. Phys*. — 30 April 2015 r.
7. Bochenek K, Aebischer D., Międybrodzka A., Cieślak G., Kawczyk-Krupka A. Methods for bladder cancer diagnosis — The role of autofluorescence and photodynamic diagnosis. [Статья] // *Photodiagnosis Photodyn Ther*. — 27 Sep 2019 r. — стр. 141–148. .
8. Boere I A [и др.] Protoporphyrin IX fluorescence photobleaching and the response of rat Barrett's esophagus following 5-aminolevulinic acid photodynamic therapy. [Журнал] // *Photochem. Photobiol*. — Nov-Dec 2006 r. — 6: T. 82. — стр. 1638–44.
9. Chilakamarthi U, Giribabu L. Photodynamic Therapy: Past, Present and Future [Статья] // *Chem Rec*. — Aug 2017 r. — 8: T. 17. — стр. 775–802.
10. Grant B. D., Schwarz R. A., Quang T. High-resolution microendoscope for the detection of cervical neoplasia. [Статья] // *Methods Mol Biol*. — 2015 r. — T. 1256. — стр. 421–434.
11. Herman C. Emerging technologies for the detection of melanoma: achieving better outcomes [Статья] // *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*. — 2012 r. — T. 5. — стр. 195–212.
12. James N. S., Cheruku R. R., Missert J. R., Sunar U., Pandey R. K. Measurement of Cyanine Dye Photobleaching in Photosensitizer Cyanine Dye Conjugates Could Help in Optimizing Light Dosimetry for Improved Photodynamic Therapy of Cancer [Статья] // *Molecules*. — 2018 r. — 8: T. 23. — стр. 1842.
13. Kwiatkowski S., Knap B., Przystupski D., Saczko J., Kędzierska E., Knap-Czop K., Kotlińska J., Michel O., Kotowski K., Kulbacka J. Photodynamic therapy — mechanisms, photosensitizers and combinations [Журнал] // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. — 2018 r. — T. 106. — стр. 1098–1107.
14. Mallidi S., Anbil S., Bulin A. L., Obaid G., Ichikawa M., Hasan T. Beyond the Barriers of Light Penetration: Strategies, Perspectives and Possibilities for Photodynamic Therapy [Статья] // *Theranostics*. — 2016 r. — 13: T. 6. — стр. 2458–2487.
15. Middelburg T. A., Hoy C. L., Neumann H. A., Amelink A., Robinson D. J. Correction for tissue optical properties enables quantitative skin fluorescence measurements using multi-diameter single fiber reflectance spectroscopy [Статья] // *J Dermatol Sci*. — Jul 2015 r. — 1: T. 79. — стр. 64–73.
16. Narayanamurthy V., Padmapriya P., Noorasafin A., Pooja B., Hema K., Yuhainis Firus Khan A., Nithyakalyanic K., Samsurif F. Skin cancer detection using non-invasive techniques [Статья] // *RSC Adv*. — 2018 r. — T. 8. — стр. 28095–28130.
17. Pogue B. W., Sheng C., Benevides J., Forcione D., Puricelli B., Nishioka N., Hasan T. Protoporphyrin IX fluorescence photobleaching increases with the use of fractionated irradiation in the esophagus [Статья] // *J Biomed Opt*. — 2008 r. — 3: T. 13.
18. Sharwani A., Alharbi F. A. Monitoring of photobleaching in photodynamic therapy using fluorescence spectroscopy [Статья] // *Gulf J Oncolog*. — 2014 r. — 16: T. 1. — стр. 79–83.
19. Shelton M. E., Adamson A. S. Review and Update on Evidence-Based Surgical Treatment Recommendations for Nonmelanoma Skin Cancer [Статья] // *Dermatol Clin*. — Oct 2019 r. — 4: T. 37. — стр. 425–433.
20. Stummer W., Suero Molina E. Fluorescence Imaging/Agents in Tumor Resection. [Статья] // *Neurosurg Clin N Am*. — Oct 2017 r. — 4: T. 28. — стр. 569–583.
21. Tipirneni K. E., Rosenthal E. L., Moore L. S., Haskins A. D., Udayakumar N., Jani A. H., Carroll W. R., Morlandt A. B., Bogyo M., Rao J., Warram J. M. Fluorescence Imaging for Cancer Screening and Surveillance. [Статья] // *Mol Imaging Biol*. — Oct 2017 r. — 5: T. 19. — стр. 645–655.
22. Xiao Q, Chen T, Chen S. Fluorescent contrast agents for tumor surgery. [Журнал] // *Exp Ther Med*. — Sep. 2018 r. — 3: T. 16. — стр. 1577–1585. — doi: 10.3892/etm.2018.6401. .

23. Лощенов В. Б., Линьков Г. К., Савельева Т. А., Лощенов М. В., Модель С. С., Бородкин А. В. Аппаратурное и инструментальное обеспечение флюоресцентной диагностики и фотодинамической терапии. [Журнал] // Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. — Москва: [б.н.], 2013 г. — № 3. — стр. 17–25.
24. Лысенко С. А. Коррекция флуоресцентных изображений биотканей на эффекты поглощения и рассеяния в них свет [Статья] // Оптика и спектроскопия. — 2018 г. — 120: Т. 125. — стр. 111–120.
25. Филоненко Е. В. Флюоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия — обоснование применения и возможности в онкологии [Статья] // Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. — 2014 г. — 1: Т. 3. — стр. 3–7.
26. Филоненко Е. Ф., Сухин Д. Г., Крылова Г. П., Залевский И. Д., Решетников А. В. Флюоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия с препаратом радахлорин при базально-клеточном раке кожи // Пособие для врачей. — Москва: ФГБУ «МНИОИ им П. А. Герцена» Минздравсоцразвития России, 2012 г. — стр. 11. — ISBN978–5–85502–144–8.
27. Ярославцева-Исаева Е. В., Каплан М. А., Капинус В. Н., Спиченкова И. С., Сокол Н. И. Флуоресцентная диагностика злокачественных новообразований кожи с фотосенсибилизаторами хлоринового ряда [Статья] // Biomedical Photonics. — 2018 г. — 1: Т. 7. — стр. 13–20.

© Корчагина Ксения Сергеевна ( Ksenija-korchagina@rambler.ru ),

Гамаюнов Сергей Викторович ( Gamajnovs@mail.ru ), Иванов Сергей Анатольевич ( oncourolog@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МРНЦ им А. Ф. Цыба



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ В ДИАГНОСТИКЕ ИНФЕКЦИЙ, ПЕРЕДАЮЩИХСЯ ПОЛОВЫМ ПУТЕМ

## THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE DIAGNOSIS OF SEXUALLY TRANSMITTED INFECTIONS

*A. Smetankina*

*Summary.* The modern direction of clinical diagnostics is to assess the state of the body, individual organs and systems by the presence of certain gases and vapors of substances associated with the disease in the bioassays.

*Keywords:* bioprobes, artificial systems, piezo-quartz microweaving, artificial intelligence, multisensory systems.

**Сметанкина Анастасия Васильевна**  
Аспирант, Воронежский государственный  
медицинский университет им. Н. Н. Бурденко  
Zhuchkova954@yandex.ru

*Аннотация.* Современным направлением клинической диагностики является оценка состояния организма, отдельных органов и систем по наличию определенных газов и паров веществ, связанных с заболеванием в биопробах.

*Ключевые слова:* биопробы, искусственные системы, пьезокварцевое микровзвешивание, искусственный интеллект, мультисенсорные системы.

### Введение

**В** настоящее время в медицине различные инфекционные заболевания диагностируют по наличию отдельных видов возбудителей в биоматериале, взятом для анализа (биологическая проба). Наиболее быстрый способ определения присутствия возбудителя — микроскопический метод, позволяющий с помощью микроскопа и окрашивания увидеть собственно возбудитель; более дорогие и трудоемкие подходы — метод полимеразной цепной реакции (ПЦР), основанный на обнаружении ДНК различных видов возбудителей, и иммуноферментный анализ (ИФА), в основе которого лежит специфическая реакция антиген-антитело.

### Цель

Использовать в диагностике инфекций, передающихся половым путем, систем с искусственным интеллектом.

### Материал и методы

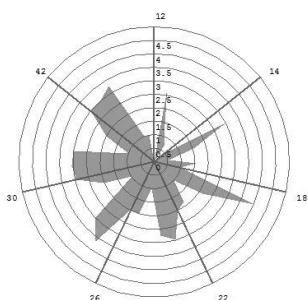
В исследование были включены 63 пациентки, у 20 из которых диагностирована хламидийная инфекция, 10-уреаплазменная инфекция, 5- кандидоз, 3-впч, 10 человек — «клинически здоровых», 15 — после проведенного лечения. Все пациентки были обследованы общеклинически, специфическое обследование на наличие бактериальной и/или вирусной инфекции проводилось с использованием методов микроскопических, ПЦР, ИФА.

С целью улучшения диагностики предложен метод экспресс-диагностики наличия определенного вида инфекций, передающихся половым путем, заключающийся в качественном определении легколетучих органических соединений в биопробах.

### Результаты и обсуждение

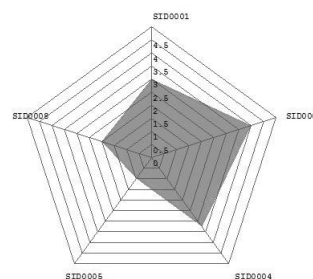
Аналитический сигнал мультисенсорной системы представляет собой совокупность выходных кривых массива сенсоров (хрончастотограммы) — зависимость изменения частоты колебаний пьезокварцевой пластины с модификатором от времени или хрончастотограммы. При этом не все точки на выходных кривых информативны и используются для получения аналитической информации. Визуализация выходного сигнала осуществляется путем построения «визуальных отпечатков» в двух вариантах: по максимальным сигналам всех сенсоров в матрице («визуальные отпечатки» максимумов) и по отдельным сигналам всех сенсоров, регистрируемых по определенному алгоритму (кинетические «визуальные отпечатки»), что предусмотрено в программном обеспечении анализатора «МАГ-8». Геометрические особенности «визуальных отпечатков» (форма, площадь фигуры) определяются качественным и количественным (соотношение содержаний и концентрация отдельных соединений) составом РФФ над анализируемыми биопробами. Рассмотрим наиболее типичные «визуальные отпечатки» для различных групп биопроб пациенток с разной диагностической характеристикой по природе инфекции или ее отсутствию: контрольная группа — «клинически здоровые», «пролеченные», об-

Кинетические  
«визуальные отпечатки»  
 $\Delta F$ , Гц



а)

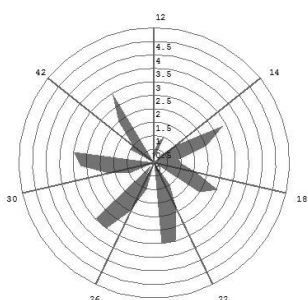
«Визуальные отпечатки»  
максимумов  
 $\Delta F$ , Гц



б)

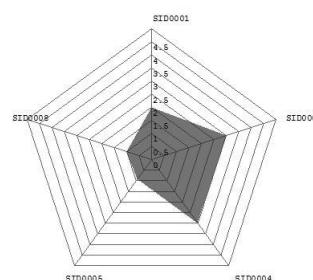
«Клинически здоровые»,  $S_{e.o.} = 557$  Гц·с

$\Delta F$ , Гц



а)

$\Delta F$ , Гц



б)

«Пролеченные»,  $S_{e.o.} = 399$  Гц·с

Рис. 1. Кинетические «визуальные отпечатки» (а) и «визуальные отпечатки» максимумов сигналов (б) массива 5-ти сенсоров в РФФ над биопробами контрольной группы.

следуемая группа — «кандидоз», «гарднереллез», «уре-аплазмоз», «хламидиоз», «вирус папилломы человека» (рис. 1, 2). Для детализации тонких различий в форме «визуальных отпечатков» отключали сенсоры с маленькими (на уровне шума) и наибольшими сигналами, при этом число сенсоров, по откликам которых строили «визуальные отпечатки» составило 5: ПЭГ-2000, ДЦГ-18-К-6, ТХ-100, БКЗ, ПЭГад.

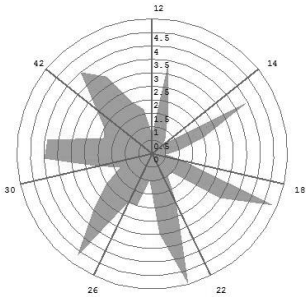
Для проб контрольной группы характерны различия в геометрии кинетических «визуальных отпечатков»: так для проб из подгруппы «пролеченные» характерны меньшие сигналы массива сенсоров в РФФ, чем для подгруппы «клинически здоровые», что можно объяснить угнетением естественной микрофлоры вследствие

проведенного лечения и, как следствие, уменьшением содержания легколетучих органических веществ маркеров в РФФ над биопробой. Также для подгруппы «клинически здоровые» характерны более четкие «лепестки» на кинетическом «визуальном отпечатке» в начальные моменты времени сорбции (10 с от момента инъектирования РФФ в ячейку детектирования), а для подгруппы «пролеченные» — после 30 с от начала сорбции.

### Заключение

«Визуальные отпечатки» максимумов откликов сенсоров в РФФ над биопробами для контрольной группы практически не отличаются по геометрии, что

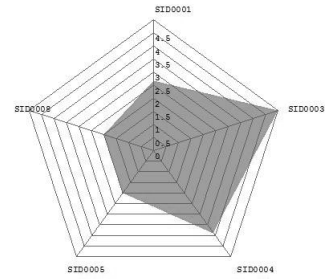
Кинетические  
«визуальные отпечатки»  
 $\Delta F$ , Гц



а)

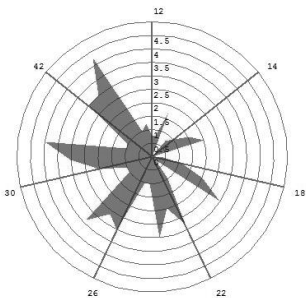
«Кандидоз»,  $S_{\text{в.о.}} = 711$  Гц·с

«Визуальные отпечатки»  
максимумов  
 $\Delta F$ , Гц



б)

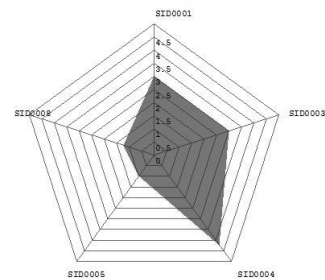
$\Delta F$ , Гц



а)

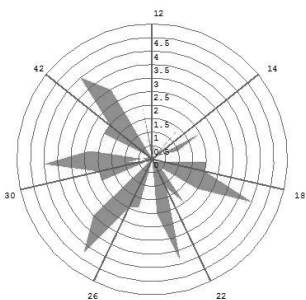
«Гарднереллез»,  $S_{\text{в.о.}} = 792$  Гц·с

$\Delta F$ , Гц



б)

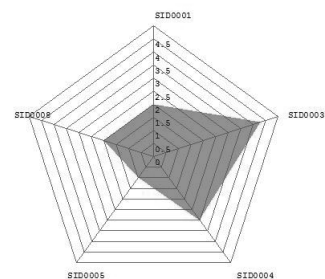
$\Delta F$ , Гц



а)

«Гарднереллез»,  $S_{\text{в.о.}} = 792$  Гц·с

$\Delta F$ , Гц



б)

Рис. 2. Типичные кинетические «визуальные отпечатки» (а) и максимумов (б) откликов массива сенсоров в РФ над цервикальной слизью для обследуемой группы пациенток с моноинфекциями (продолжение на стр. 84)

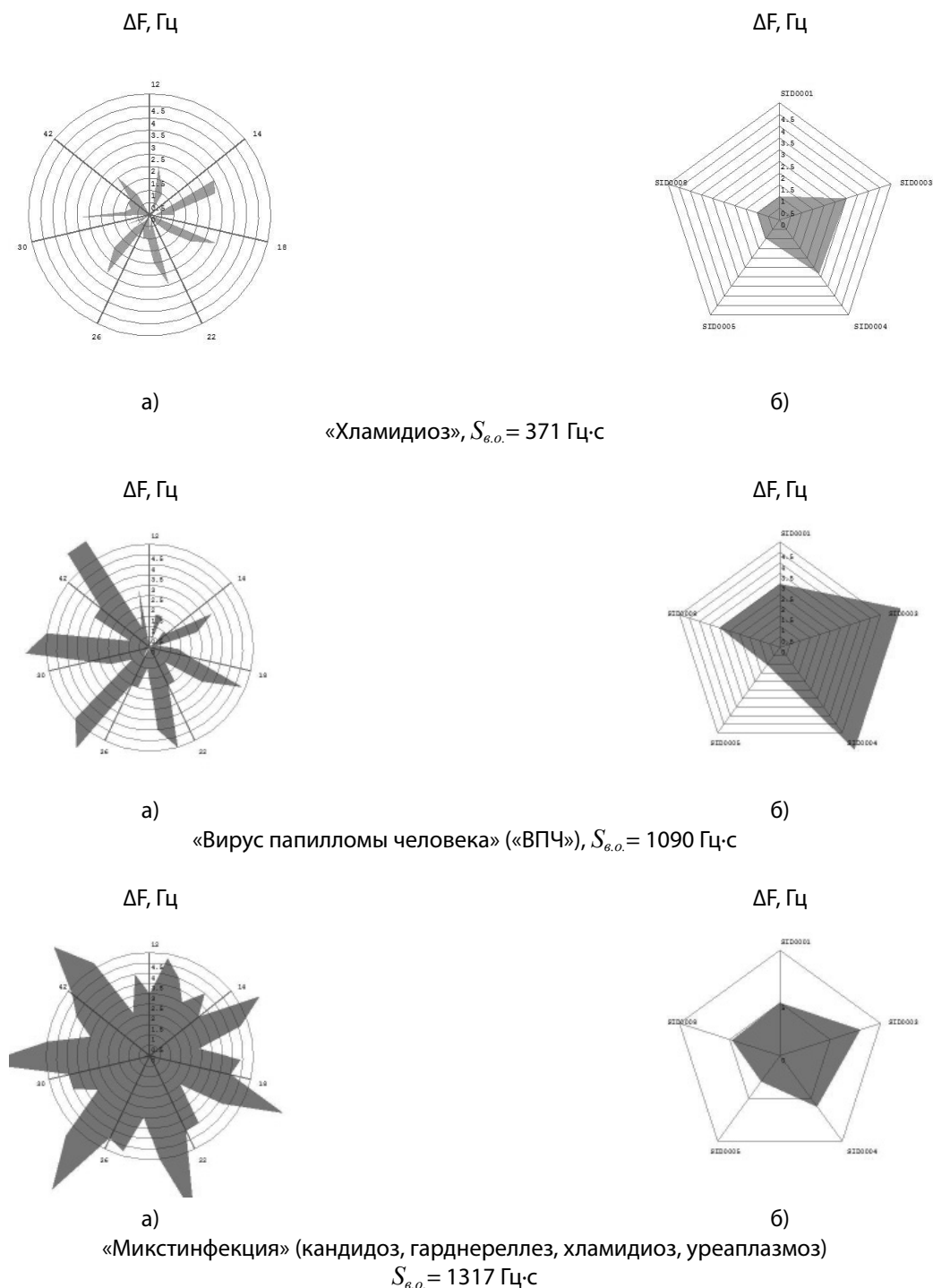


Рис. 2 (продолжение). Типичные кинетические «визуальные отпечатки» (а) и максимумов (б) откликов массива сенсоров в РФГ над цервикальной слизью для обследуемой группы пациенток с моноинфекциями

свидетельствует об идентичности состава РФГ над биопробами и низком диагностическом свойстве этого вида сигналов. Также для образцов контрольной группы характерны меньшие по значению отклики выбранных сенсоров в РФГ над ними, чем для основной группы, и ге-

ометрия «визуального отпечатка» максимумов без четко выраженного смещения в сторону откликов одного сенсора. Однако для «визуального отпечатка» откликов массива сенсоров в РФГ над цервикальной слизью с заболеванием «хламидиоз» характерна самая маленькая

площадь из рассматриваемых, что может быть связано с отсутствием возбудителя в отбираемом материале для анализа и, как следствие, отсутствием газов-маркеров в РФГ над ним. Этим объясняется невозможность диагностики возбудителя из этой группы с помощью простых алгоритмов (уровень 1 и 2).

Для основной группы характерны различные «визуальные отпечатки» откликов массива сенсоров в РФГ над биопробами не только соответствующие различным заболеваниям, но и внутри группы для одного заболевания. Это может быть связано с повышенным влиянием матрицы биопробы на состав РФГ, т.к. одно и то же заболевание может вызывать различные нарушения в микрофлоре цервикального канала, вследствие чего различия между «визуальными отпечатками» над био-

пробами для ИППП нивелируются, что затрудняет определение вида возбудителя.

Для всех исследуемых возбудителей ИППП за исключением кандид и хламидий характерен «разворачивающийся» вид кинетического «визуального отпечатка», т.е. увеличение сигналов массива сенсоров со временем, что свидетельствует о большом содержании газов-маркеров в РФГ над биопробой и активном протекании заболевания. Кинетический «визуальный отпечаток» откликов массива сенсоров в РФГ над биоматериалом содержащим грибки рода кандида похож на кинетический «визуальный отпечаток» для проб из группы «клинически здоровые» и не может быть выделен в отдельную группу. Поэтому даже по визуализации второго уровня пробы с этим возбудителем не диагностируются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Revelsky A.I., Revelsky I. A., Miller B., Oriedo V. Simultaneous determination of fatty, dicarboxylic and amino acids based on derivatization with isobutyl chloroformate followed by gas chromatography — positive ion chemical ionization mass spectrometry // *J. Chromatogr. B.* 2004. V. 800. № 1–2. P. 101.
2. Сухарев А., Ермолаева Т. Н., Беда Н. А., Мамаева С. А., Ермолаев В. Г. Иммунохимическое исследование лактоферрина, продуктов деградации фибриногена, иммуноглобулинов и белковых фракций в смешанной слюне перспективный неинвазивный тест в оценке состояния здоровья при диспансеризации // *Современные наукоемкие технологии.* 2006. № 6. С. 79.
3. Pavlou A.K., Magan N., McNulty C., Jones J. M., Sharp D., Brown J., Turner A. P.F. Use of an electronic nose system for diagnoses of urinary tract infections // *Biosens. Bioelectron.* 2002. V. 17. № 10. P. 893.
4. Bernabei M., Pennazza G., Santonico M., Corsi C., Roscioni C., Paolesse R., Di Natale C., D'Amico A. A preliminary study on the possibility to diagnose urinary tract cancers by an electronic nose // *Sens. Actuators B: Chem.* 2008. V. 131. № 1. P. 1.
5. Бельский В. Е. Солюбилизация газов и насыщенных паров в биологических средах // *Хим.-фарм. журнал.* 2000. Т. 34. № 11. С. 42.
6. Buszewski B., Ulanowska A., Kowalkowski T., Cieslinski K. Identification of volatile lung cancer markers by gas chromatography-mass spectrometry: Comparison with discrimination by canines // *Anal. Bioanal. Chem.* 2012. V. 404. № 1–2. P. 141.
7. Gaspar E.M., Lucena A. F., Duro da Costa J., Chavesdas Neves H. Organic metabolites in exhaled human breath — A multivariate approach for identification of biomarkers in lung disorders // *J. Chromatogr. A.* 2009. V. 1216. № 14. P. 2749.
8. Gardner J.W., Shin H.W., Hines E. L. An electronic nose system to diagnose illness // *Sens. Actuators B: Chem.* 2000. V. 70. № 1–3. P. 19.
9. Кучменко Т.А., Шуба А. А., Тюркин И.А., Битюкова В. В. Оценка состояния биологических проб по составу равновесной газовой фазы с применением мультисенсорной системы // *Журн. аналит. химии.* 2014. Т. 69. № 5. С. 534. (Kuchmenko T. A., Shuba A. A., Tyurkin I. A., Bityukova V. V. Estimation of the state of biological samples by the composition of the headspace using a multisensor system. // *J. Analyt. Chem.* 2014. V. 69. № 5. P. 485.)
10. Weiss T., Angerer J. Simultaneous determination of various aromatic amines and metabolites of aromatic nitro compounds in urine for low level exposure using gas chromatography–mass spectrometry // *J. Chromatogr. B.* 2002. V. 778. № 1–2. P. 179.
11. Deng Y.-H., Wang H., Zhong L., Zhang H.-S. Trace determination of short-chain aliphatic amines in biological samples by micellar electrokinetic capillary chromatography with laser-induced fluorescence detection // *Talanta.* 2009. V. 77. № 4. P. 1337.
12. Rudnicka J., Kowalkowski T., Ligor T., Buszewski B. Determination of volatile organic compounds as biomarkers of lung cancer by SPME–GC–TOF/MS and chemometrics // *J. Chromatogr. B.* 2011. V. 879. № 30. P. 3360.
13. Senthilmohan S.T., Kettle A. J., McEwan M.J., Dummer J., Edwards S. J., Wilson P. F., Epton M. J. Detection of monobromamine, monochloramine and dichloramine using selected ion flow tube mass spectrometry and their relevance as breath markers // *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2008. V. 22. № 5. P. 677.
14. Carrola J, Rocha C. M., Barros A. S., Gil A. M., Goodfellow B. J., Carreira I. M., Bernardo J., Gomes A., Sousa V., Carvalho L., Duarte I. F. Metabolic signatures of lung cancer in biofluids: NMR-based metabolomics of urine // *J. Proteome Res.* 2011. V. 10. № 1. P. 221.

© Сметанкина Анастасия Васильевна (Zhuchkova954@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НАШИ АВТОРЫ OUR AUTHORS

**Abdullaeva B.** —Assistant, FSBEI HE "Dagestan State Medical University" of the Ministry of health of the Russian Federation, Makhachkala  
bariyat0227@mail.ru

**Agmadova Z.** —Ph.D. of medical Sciences, Assistant, FSBEI HE "Dagestan State Medical University" of the Ministry of health of the Russian Federation, Makhachkala  
agmzar@mail.ru

**Akhmedkhanov S.** —Doctor of medical Sciences, Professor, FSBEI HE "Dagestan State Medical University" of the Ministry of health of the Russian Federation, Makhachkala  
saip@mail.ru

**Andryukhin A.** —Ph. D., associate professor, MIREA - Russian Technological University (Moscow)  
pr1110@list.ru

**Antonikov A.** —Graduate student, Moscow City Pedagogical University  
antonikov.alexandr@gmail.com

**Beibalaeva A.** —Assistant, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
89288350200@mail.ru

**Bogomolov K.** —Baltic Federal University named after I. Kant  
kst44@mail.ru

**Boyko D.** —MIREA - Russian Technological University (Moscow)  
den87-2004@mail.ru

**Dedkov Yu.** —Baltic Federal University named after I. Kant  
yuri.dedkov@gmail.com

**Ermakova T.** —Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow City Pedagogical University  
ermaktat@bk.ru

**Ezilyaeva M.** —Assistant, FSBEI HE "Dagestan State Medical University" of the Ministry of health of the Russian Federation, Makhachkala  
eziljaeva.m@yandex.ru

**Gadjieva T.** —D.m.n., professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
tami2006@yandex.ru

**Gamayunov S.** —PhD, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Obninsk)  
Gamajnovs@mail.ru

**Grachev N.** —Ph. D., professor, MIREA - Russian Technological University (Moscow)  
nngachev@mail.ru

**Ignatov N.** —Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University)  
nick\_ignatov@mail.ru

**Ivanov S.** —Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, director of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Obninsk)  
oncurolog@gmail.com

**Ivanov S.** —Ph.D., associate Professor, ITMO University (Saint Petersburg)  
sivanov@mail.ifmo.ru

**Karlash A.** —candidate of medical Sciences, Docent, Kursk state medical University

**Korchagina K.** —PhD Candidate of Medical Sciences, A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Obninsk)  
Ksenija-korchagina@rambler.ru

**Korlyakov K.** — candidate of biology, assistant professor, FSBEI "Chelyabinsk State University"  
korfish@mail.ru

**Krivtsov S.** — Federal state military educational institution of higher professional education "Military Academy of communications named. Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo " (St. Petersburg)  
staskriv@mail.ru

**Kudaev M.** — D.m.n., professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala  
kudaev54@mail.ru

**Latushko M.** — Federal state military educational institution of higher professional education "Military Academy of communications named. Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo " (St. Petersburg)  
maxconi81@gmail.ru

**Lazareva A.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Arzamas Polytechnic Institute (branch) FSBEI of Higher Education "Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva"  
lazareva@apingu.edu.ru

**Nesterov A.** — Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Moscow City Pedagogical University  
andrenesterov@yandex.ru

**Osetrova I.** — Senior lecturer, ITMO University (Saint Petersburg)  
irina@ifmo.spb.ru

**Pylynsky M.** — Federal state military educational institution of higher professional education "Military Academy of communications named. Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo " (St. Petersburg)  
pylinskii.maksim@mail.ru

**Rubtsov D.** — lead software engineer, Yandex, Moscow  
rubtsov.dmv@gmail.com

**Ryabov A.** — Ph.D., Associate Professor, Arzamas Polytechnic Institute (branch) FSBEI of HE "Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva"

**Saakyan E.** — Kursk state medical University

**Saidova Z.** — Assistant, FSBEI HE "Dagestan State Medical University" of the Ministry of health of the Russian Federation, Makhachkala  
zaira.saidova.2019@bk.ru

**Samokhin E.** — Federal state military educational institution of higher professional education "Military Academy of communications named. Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo " (St. Petersburg)  
evgenysamohin2006@rambler.ru

**Sechkina N.** — Moscow Aviation Institute (National Research University); engineer, Research Institute of precision instruments (Moscow)  
sechkina.natali@yandex.ru

**Shamatov M.** — Arzamas Polytechnic Institute (branch) FSBEI HE "Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva"

**Shilova S.** — Baltic Federal University named after I. Kant  
ya.shelby95@ya.ru

**Smetankina A.** — PhD student, Voronezh state medical University. N. N. Burdenko  
Zhuchkova954@yandex.ru

**Tereshkin N.** — Federal state military educational institution of higher professional education "Military Academy of communications named. Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo " (St. Petersburg)  
Mihalych08pskov@mail.ru

**Voytyuk T.** — Ph. D., associate Professor, ITMO University (Saint Petersburg)  
taire2006@yandex.ru

**Zhurbenko V.** — Kursk state medical University  
prepvermed@mail.ru

**Zubkov E.** — Baltic Federal University named after I. Kant  
evgenyzubkov@mail.ru

**Zudilova T.** — Ph.D., associate Professor, ITMO University (Saint Petersburg)  
zudilova@ifmo.spb.ru

## 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 оста вляет 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.
- ◆ Литература 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) ).