

A photograph of an industrial facility, likely a refinery or chemical plant, at sunset. The sky is a mix of orange, red, and purple. In the foreground, there are several large, white, industrial valves with handwheels. A network of white pipes runs across the middle ground. In the background, there are tall distillation columns and other industrial structures. The overall scene is brightly lit by the setting sun.

ISSN2713-220X

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

2022 № 1 (Том 3)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2022 № 1 (Том 3)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Алиев Р.М., Курбанов Ш.М. Исследование областей формирования потенциальных ловушек углеводородов на суше Южного Дагестана и шельфе Каспия

Пармузина М.С., Люосев В.В. Давление в трубопроводе с сосредоточенным отбором или подкачкой при установленном режиме

**РАДИОТЕХНИКА,
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

Юрков Н.К. Разработка оптимальной структуры радиоэлектронных средств на основе взаимодействия цифровых моделей различных этапов проектирования

Гусев А.С., Каргин Н.И., Рындя С.М., Тимофеев А.А., Сиглова Н.В., Антоненко С.В. Исследование тонких пленок *AlN*, формируемых методом импульсного лазерного осаждения

Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Разработка технологии диффузии золота в рабочие области мощных кремниевых транзисторов
Денгаев А.М. Построение функциональных моделей подсистем медицинской информационной системы

**ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Казиев М.-Р.А., Батталов С.Б., Алиев Х.А. Абрикосы Северо-Западного Дагестана: исследование состава и пищевой ценности плодов

Едыгова С.Н. Технология обогащения пшеничного хлеба амарантовой мукой

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Хежев Т.А., Журтов А.В. Исследование огнезащитных свойств вермикулитобетонов с добавкой вулканического пепла

Правила оформления и представления статей

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

Редакционная коллегия:

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)

Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)

Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)

Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)

Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)

Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)

М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)

М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)

П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)

Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)

М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)

Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)

К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)

А.Н. Мурашкевич, д.т.н., профессор (Минск)

А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)

Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)

А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)

И.И. Татарченко, д.т.н., профессор (Краснодар)

С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)

Т.А. Хежев, д.т.н., профессор (Нальчик)

Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

3

17

23

33

39

45

52

61

65

71

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности

руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика

Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

Телефон: +7 (8722) 62 37 15

E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

2022 № 1 (Vol. 3)

CONTENTS

EARTH SCIENCES

- Aliiev R.M., Kurbanov Sh.M.* Investigation of the formation areas of potential hydrocarbon traps on the land of Southern Dagestan and the Caspian shelf 3
- Parmuzina M.S., Lyuosev V.V.* Pressure in the pipeline with concentrated withdrawal or sub-pumping under the set mode 17

**RADIO ENGINEERING,
MICRO- AND NANOELECTRONICS**

- Yurkov N.K.* Development of the optimal structure of radio-electronic means based on the interaction of digital models of various design stages 23
- Gusev A.S., Kargin N.I., Ryndya S.M., Timofeev A.A., Siglovaya N.V., Antonenko S.V.* Investigation of thin AlN films formed by pulsed laser deposition 33
- Shakhmaeva A.R., Kazalieva E.* Development of technology for gold diffusion into the working areas of high-power silicon transistors 39
- Dengaev A.M.* Construction of functional models of subsystems of the medical information system 45

**TECHNOLOGIES, PROCESSES AND
DEVICES OF FOOD PRODUCTION**

- Kaziev M.-R.A., Battalov S.B., Aliiev Kh.A.* Apricots of the North-Western Dagestan: a study of the composition and nutritional value of fruits 52
- Edygova S.N.* Technology of enrichment of wheat bread with amaranth flour 61

**BUILDING CONSTRUCTION AND
ARCHITECTURE**

- Khezhev T.A., Zhurtov A.V.* Study of the fire-retardant properties of vermiculite concretes with the addition of volcanic ash 65

- Rules for writing and submitting articles 71

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

Editorial team:

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
R.M. Aliiev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)
M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
P.Yu. Bochkarev, Doctor of Science, Prof. (Saratov)
R.V. Guseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)
A.N. Murashkevich, Doctor of Science, Prof. (Minsk)
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
A.R. Tagilaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
I.I. Tatarchenko, Doctor of Science, Prof. (Krasnodar)
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
T.A. Khezhev, Doctor of Science, Prof. (Nalchik)
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.

All materials received by the editors subject to review.

The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.

The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.

The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.

The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.
Tel.: +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ НА СУШЕ ЮЖНОГО ДАГЕСТАНА И ШЕЛЬФЕ КАСПИЯ

Алиев Р.М., Курбанов Ш.М.

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
shalym04@mail.ru

Аннотация. Данные современной сейсморазведки свидетельствуют о значительном потенциале для увеличения запасов и добычи углеводородов на шельфе Дагестана, где выделены различные типы новых перспективных ловушек в отложениях юры, мела и до плиоцена включительно. Отмечено, что взбросо-надвиговые дислокации являются преобладающим фактором формирования залежей углеводородов в мезо-кайнозойском комплексе отложений территории суши, прилегающей к шельфу Дагестана. Указано, что в отличие от условий залегания пород на суше, осадочные комплексы неогена территории шельфа находятся в более «спокойных» в тектоническом отношении условиях, что существенно повышает их перспективы нефтегазоносности. Итогом проведенных сейсмических работ в пределах шельфа Республики Дагестан явились выявленные ловушки в области конуса выноса в чокракских отложениях, в палеорусловых и клиноформных фациях сарматских и плиоценовых отложений, а также тектонически экранированные и антиклинальные ловушки в юрско-меловом комплексе. Определено, что из подготовленных к поисково-оценочному бурению объектов, наиболее перспективной на выявление залежи углеводородов является Губечанская структура. В этой же зоне находится перспективный локальный участок «Сулакский» с аналогичными типами ловушек. Результаты поисково-оценочного бурения на локализованных в пределах участка недр «Сулакский» потенциальных нефтегазоносных объектов являются «ключом» к освоению их аналогов в пределах дагестанского сектора шельфа Каспия.

Ключевые слова: Южный Дагестан, шельф, Каспий, углеводороды, ловушки, поиски, сейсмика, разломы, нефтегазоносность.

Abstract. The data of modern seismic exploration indicate a significant potential to increase the stocks and production of HC on the shelf of Dagestan, where various types of new promising traps in the sediments of Yura, chalk and to Pliocene are inclusive. It was noted that the absorbent dislocations are the prevailing factor in the formation of the deposits of HC in the Meso-Cenozoic complex of deposits of the land area adjacent to the Dagestan shelf. It is indicated that, unlike the conditions of occurrence of breeds on land, sedimentary complexes of the neogene area of the shelf are in more «quiet» conditions in tectonic terms, which significantly increases their prospects for oil and gas. The result of the seismic work within the shelf of the Republic of Dagestan was the identified traps in the cone cone in Chokrakia sediments, in the paleoreslovic and cliniform facies of Sarmatian

and Pliocene deposits, as well as tectonically shielded and anticlinal traps in the Jurassic-chalome complex. It is determined that from those prepared for search and evaluate drilling of objects, the most promising to identify the deposits of hydrocarbons is the puzzle structure. In the same area there is a promising Lou «Sulaksky» with similar types of traps. The results of the search and evaluation drilling on the localized oil and gas objects localized within the subsoil site are «key» to master their analogues within the Dagestan sector of the Caspian Shelf.

Key words: Russia, shelf, Caspian, Dagestan, hydrocarbons, traps, seizure, seismic, faults, oil and gas potential.

Введение

В тектоническом отношении территория Южного Дагестана занимает восточную часть Терско-Каспийского передового прогиба. В пределах данного региона нефтегазоносными являются отложения от юры до неогена включительно. Выявленные здесь запасы углеводородов распределены следующим образом: суммарно по всем углеводородам – в карбонатном комплексе верхнего мела более 50% и терригенном комплексе чокрака около 30%; по нефти – 68% в чокраке и 30% в верхнем меле; по газу – 62% в верхнем меле.

Исходя из этих соотношений, прогноз преимущественной нефтеносности связы-

вается с терригенным комплексом чокрака, а газоносности – с карбонатным комплексом верхнего мела.

Геологическая характеристика месторождений

Как было ранее установлено широким кругом исследователей [1, 2, 3], практически все залежи углеводородов в пределах суши Южного Дагестана связаны с зонами поднятий, приуроченными к разломам, и являются тектонически экранированными (месторождения Восточной и Западной антиклинальных зон, зоны поднятий Дагестанского клина) (рисунок 1).

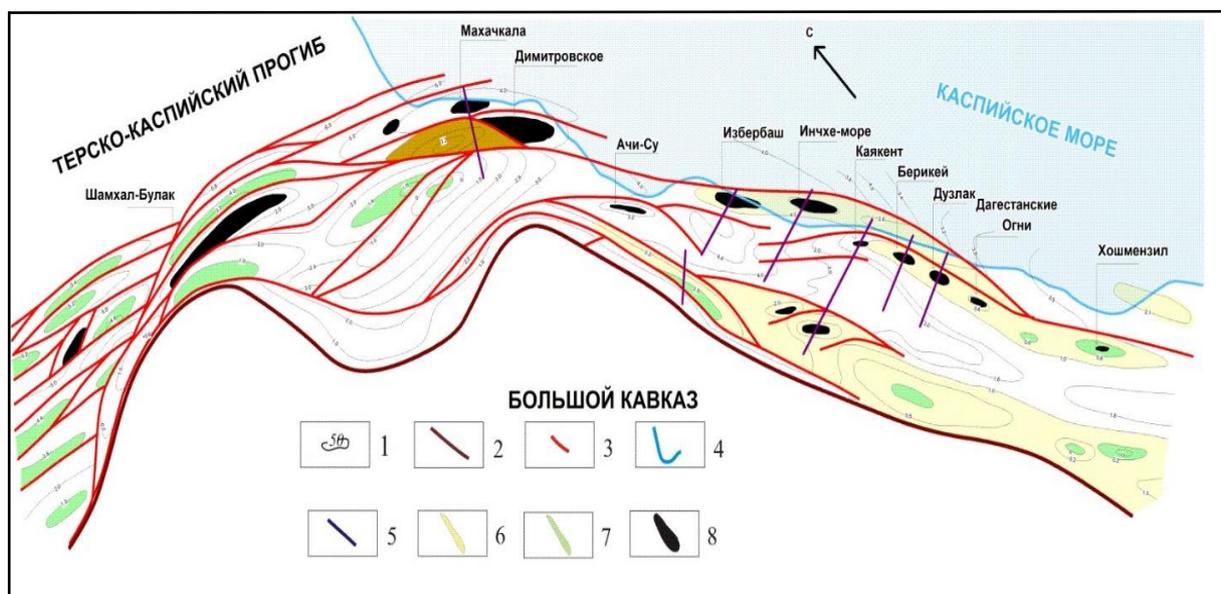


Рисунок 1 – Схема разломной тектоники и размещения месторождений углеводородов Южного Дагестана: 1 – изогипсы кровли карбонатных отложений верхнего мела; 2 – граница складчато-орогенной области Большого Кавказа; 3 – разломы надвигового и взбросо-надвигового типов; 4 – береговая линия Каспия; 5 – линии сейсмопрофилей; 6 – газоконденсатные месторождения; 7 – перспективные структуры; 8 – нефтяные месторождения

Анализ геологического строения месторождений по комплексу данных современной сейсморазведки (ОАО «Краснодарнефтегеофизика», ОАО «Ставропольнефтегеофизика») и бурения подтверждает и уточняет взбросо-надвиговую модель строения большинства залежей углеводородов в нефтегазоносных комплексах мезо-кайнозоя суши Южного Дагестана (рисунки 1). На временных геологических разрезах через месторождения Избербаш, Димитровское, Инчхе-Море, Каякент, Берикей, Дузлак взбросо-надвиговые дислокации затрагивают в большинстве случаев практически всю толщу мезо-кайнозоя, в отдельных случаях они прослеживаются в основном только в неогене, затухая в майкопской толще [7]. Таким образом, взбросо-надвиговые дислокации являются преобладающим фактором формирования залежей углеводородов в мезо-кайнозойском комплексе отложений территории суши.

Основную роль в образовании надвигов и взбросо-надвигов играет надвигание мегантиклинория Большого Кавказа на Терско-Каспийский передовой прогиб [8, 9]. Время образования взбросо-надвиговых дислокаций поздненеогенное и, по-видимому, они продолжают развиваться и в четвертичное (современное) время. Вероятно, в это время и произошло основное формирование антиклинальных зон и большинства залежей углеводородов в неогеновых отложениях в рассматриваемом регионе. Как показывают исследования Н.А. Касьяновой (2011), формирование и переформирование залежей углеводородов происходят и в настоящее время в импульсном режиме.

Кроме того, установлено, что масштаб запасов углеводородов в выявленных залежах, расположенных к западу от Восточной антиклинальной зоны, незначителен (менее 1 млн. т условного топлива). Это связано, вероятно, с ограниченностью объемов генерации и аккумуляции углеводородов в погруженных зонах территории

суши (в частности, в Каранайаульской впадине).

На шельфе Республики Дагестан выявлено лишь одно нефтяное месторождение – Инчхе-море. По данным сейсморазведки последних лет, а также по аналогии с Северным и Средним Каспием [2] (где выявлен ряд крупных месторождений – им. Ю. Корчагина, Ракушечное, им. Филановского, Хвалынское, 170 км, Сарматское и Центральное) есть все основания прогнозировать открытие большого количества шельфовых месторождений углеводородов в дагестанском секторе Каспия различного масштаба запасов – от средних до крупных.

При переходе от суши к шельфу, к востоку от Главного Дербентского разлома, по данным сейсмических исследований происходит: 1) резкое погружение мезо-кайнозойских отложений; 2) наращивание разреза, в основном, за счет плиоценовых и сарматских пород; 3) уменьшение роли разломов в неогеновом комплексе пород и сохранение их ведущей роли в юрско-меловом комплексе; 4) появление в неогеновом комплексе пород других типов ловушек, более связанных с литологическим фактором их формирования [10, 11].

В пределах выделенных структурных ярусов по данным морской сейсморазведки и бурения на суше выделяются отдельные сеймостратиграфические комплексы [4], характеризующиеся различными литологическим составом и условиями седиментации, интенсивностью тектоники, региональным наклоном и соответственно распространением различных типов ловушек в них.

В юрско-эоценовом комплексе широко распространены разломы, связанные с фундаментом. В верхнемеловом комплексе могут быть распространены органогенные постройки различного типа [2]. Олигоцен-миоценовые отложения характеризуются моноклинальным погружением в северо-восточном направлении. В чокракских

и сарматских отложениях распространены песчаные тела различного генезиса, связанные с конусами выноса и палеоврезами. Основные структурные элементы юрско-эоценового комплекса нивелируются вверх по разрезу майкопской толщей.

В отличие от условий залегания пород на суше, осадочные комплексы неогена территории шельфа находятся в более «спокойных» в тектоническом отношении условиях, что существенно повышает их перспективы нефтегазоносности.

Результаты интерпретации сейсмических данных, полученных ОАО «Геотермнефтегаз» в пределах лицензионного блока «Избербашский», указывают на наличие в разрезе многочисленных литологических неоднородностей и выклинивания неогенных отложений, позволяют прогнозировать залежи углеводородов в литологических и литолого-стратиграфических ловушках.

В пределах шельфовых блоков 2 и 4 (Избербаш и Сулак), являющимися продолжением Терско-Каспийского прогиба, ресурсы D0 подготовленных объектов оценены в объеме около 500 млн. т условного топлива, а перспективные ресурсы D1 – более 900 млн. т условного топлива. На территории блока 2 подготовлены к бурению ловушки: связанные с крупным песчаным телом в чокраке, тектонически экранированные в мелу-юре, неантиклинальные литологические и стратиграфические ловушки в миоцене и плиоцене (рисунок 2) [1, 3, 5].

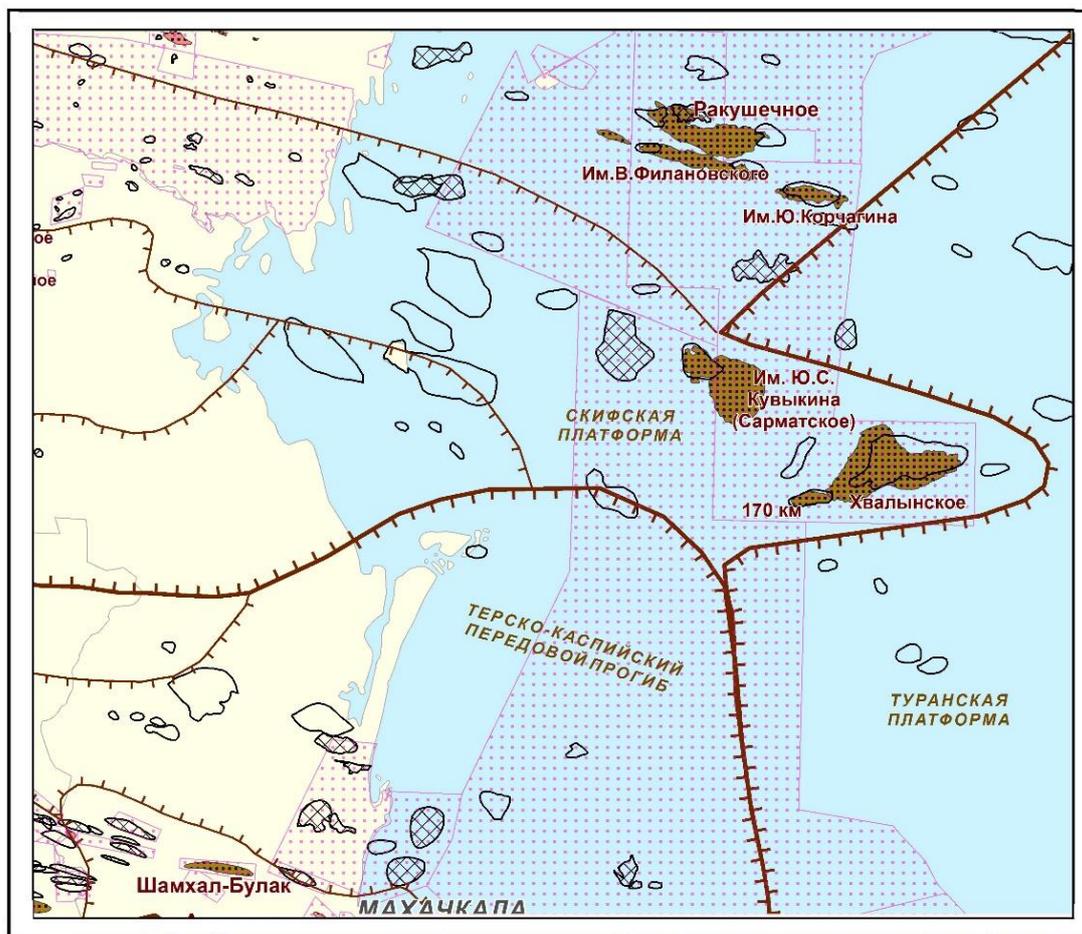


Рисунок 2 – Перспективные на нефть и газ поисковые объекты на российском шельфе Каспийского моря

Наиболее крупным и перспективным в нефтегазоносном отношении объектом является песчаное тело в чокракских отложениях.

Песчаное тело «Чокрак» выделено и оконтурено по следующим особенностям отображения на временных разрезах (рисунок 3):

1) наличие внутриформационной морфологически выраженной положительной структуры по кровле объекта;

2) увеличенная мощность (более 100 мс) чокракских отложений внутри объекта;

3) латеральное изменение характера волновой записи: внутри объекта – хаоти-

ческая, вне – параллельно-слоистая;

4) наличие в кровле структуры амплитудной аномалии и снижение интенсивности отражений в подошве структуры;

5) подошвенное налегание перекрывающих отложений.

На основании этих критериев и, исходя из палеофациальных условий образования чокракских отложений, а также по аналогии с сейсмической волновой картиной на нефтяном месторождении Фриг (Северное море, Норвегия) чокракское песчаное тело отнесено к аккумулятивному образованию подводного конуса выноса.

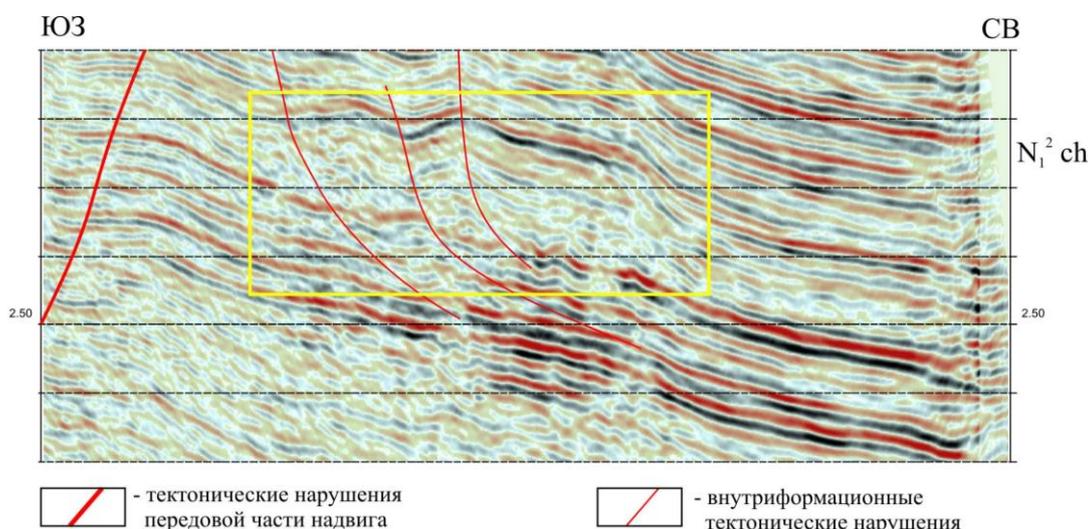


Рисунок 3 – Блок № 2 «Избербашский», профиль 0107. Аккумулятивное песчаное тело в чокракских отложениях

В сейсмическом отображении чокракского песчаного тела наиболее характерными являются две особенности: хаотический рисунок осей синфазности и снижение энергетической мощности сигналов в пределах объекта и увеличение значений этого параметра по отражающему горизонту от кровли объекта. Первое свидетельствует о существенном опесчанивании отложений в толще объекта, второе – о возможном его нефтенасыщении.

В современных геологических условиях чокракское песчаное тело залегает на

моноклинали, погружающейся в восточном направлении. Экранирование пород коллекторов по восстанию пластов может происходить как за счет латерального литологического замещения песчаников глинами, так и за счет тектонического экранирования. Выделяются тектонические экраны двух типов: региональный, связанный с взбросо-надвиговой тектоникой Восточной антиклинальной зоны, и локальный, связанный с внутриформационными тектоническими нарушениями (рисунок 4).

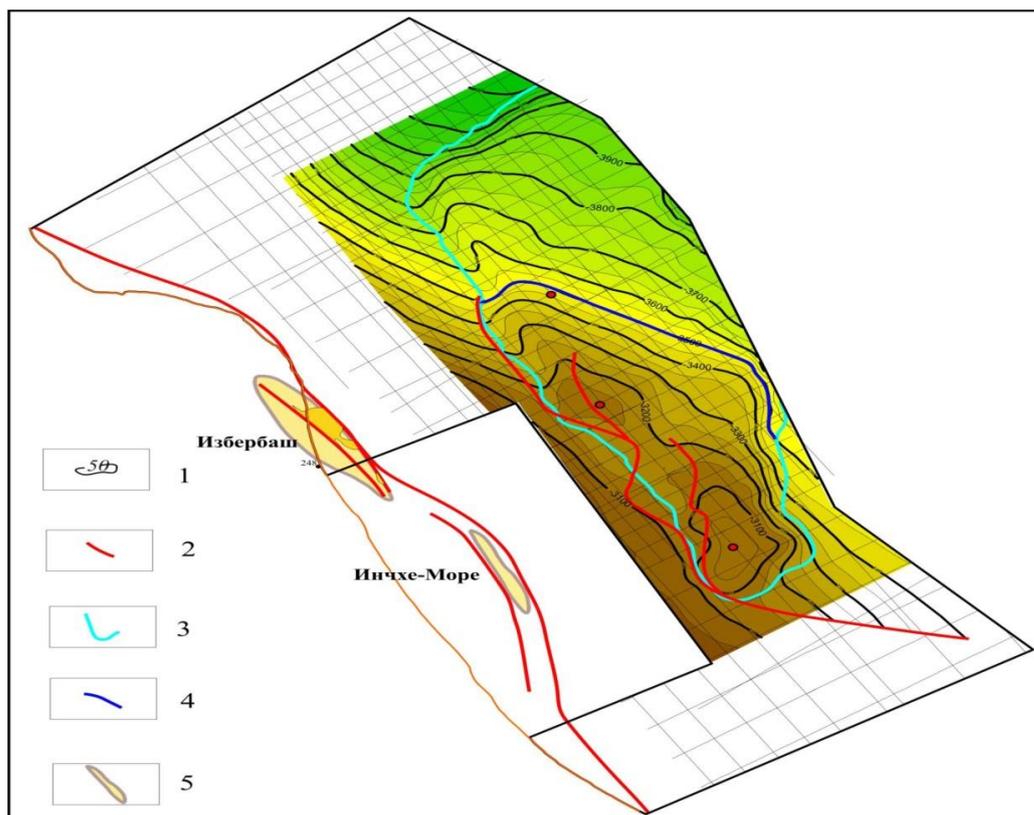


Рисунок 4 – Блок № 2 «Избербашский». Структурная карта по кровле ловушки в чокракских отложениях: 1 - изогипсы по кровле чокракского песчаного тела; 2 – тектонические нарушения; 3 – контур аккумулятивного песчаного тела; 4 – предполагаемый водонефтяной контакт; 5 – нефтяные месторождения

Детальный анализ структуры сейсмического волнового поля в пределах объекта позволил выделить слабоинтенсивные субгоризонтальные отражения, которые возможно связаны с предполагаемым водонефтяным контактом.

Таким образом, рассматриваемый объект «Чокрак» относится к литологически и тектонически экранированному типу ловушки. Объект представляет собой структуру север-северо-западного простирания, свод которой по изолинии 3100 м находится на юго-западе. Общие размеры объекта 31 x 10 км, а в пределах предполагаемого контура водонефтяного контакта – 20 x 7 км (рисунок 4). Перспективные геологические ресурсы углеводородов по категории С3 оцениваются в 585 млн. т условного топлива.

В сарматских отложениях выделяются ловушки, соответствующие по сейсмофа-

циальному облику русловым телам (палеоврезы) [12-14] (рисунок 5). На временных разрезах врез выделяется по нарушению регулярности отражений, прослеживаемых ниже ОГ М1-2S. Перспективность объектов обусловлена также локальными аномалиями типа «яркого пятна» в кровле ОГ. Эти ловушки залегают на глубине около 2000 м.

Отличительной чертой плиоцен-четвертичного сейсмического комплекса являются клиноформный облик составляющих его осей синфазности отражений, наличие аномалий амплитуд сигналов типа «яркое пятно» в пределах отражающих границ, перекрывающих выделенные ловушки [15-17] (рисунок 6). Эти ловушки приурочены к ортоформной и ундаформным частям клиноформ и залегают на глубине около 1000 м.

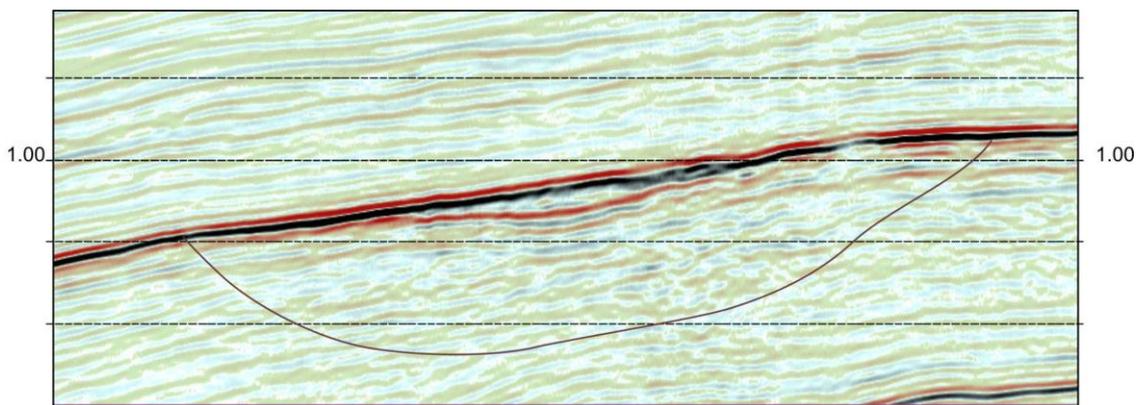


Рисунок 5 – Блок № 2 «Избербашский», профиль 0101. Выделение литолого-стратиграфических ловушек в толще заполнения сарматских отложений

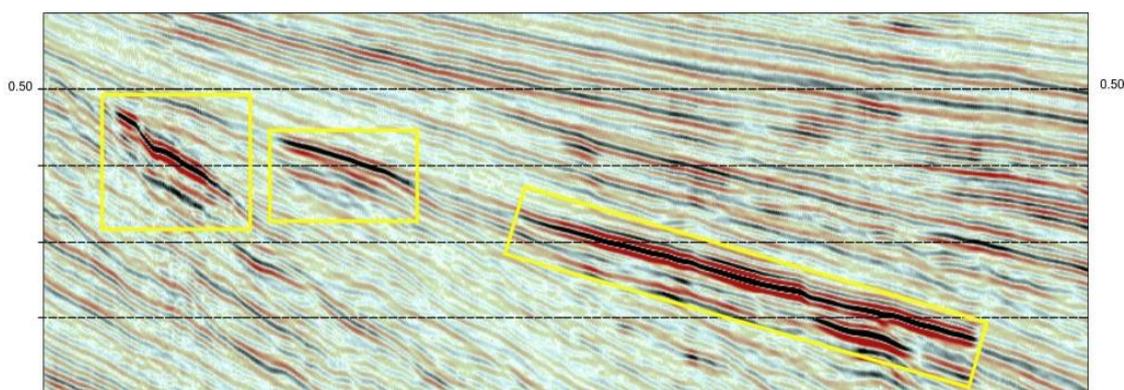


Рисунок 6 – Блок № 2 «Избербашский», профиль 0117. Выделение литолого-стратиграфических ловушек в плиоценовых отложениях

В отложениях юры-палеогена выделяются ловушки тектонически экранированного типа, а в карбонатных отложениях верхнего мела – отдельные карбонатные постройки типа рифов. Так, на северо-востоке блока 2 выделяется объект с холмообразным рисунком осей синфазности в интервале между опорными горизонтами «К2-Г» в кровле и J в подошве и с глубинами залегания от 5,3 км. Объект характеризуется СЗ – ЮВ простиранием. Его размеры по изопаките 840 м составляют 13,7 x 5,5 км. Отличительные черты его образа: холмообразный рисунок осей синфазности, относительно слабая их амплитудная выразительность.

В юго-восточном направлении достаточно уверенно прослеживается клиноформный характер рисунка осей синфаз-

ности. Данный объект в верхнем меле рассматривается как карбонатная постройка, возможно, рифового типа.

На юге блока 2 в верхнем меле выделяются ловушки, связанные с разломами, но не надвигового типа, как на суше, а практически с субвертикальными разломами, пронизывающими фундамент и юрско-меловой комплекс. Региональной покровкой для ловушек углеводородов могут служить глинистые пачки слоев майкопской свиты.

На севере региона, в пределах блока 4 (Сулакская впадина) в сарматских и плиоценовых отложениях прогнозируются тектонические и структурно-литологические ловушки; в пределах блока 5 (борт Манычского прогиба) выделяются антиклинальные ловушки в юрско-меловых и триасо-

вых отложениях [18,19].

Таким образом, итогом проведенных сейсмических работ в пределах шельфа Республики Дагестан явились выявленные ловушки в области конуса выноса в чокракских отложениях, в палеорусловых и клиноформных фациях сарматских и плио-

ценовых отложений, а также тектонически экранированные и антиклинальные ловушки в юрско-меловом комплексе (рисунок 7).

В тоже время в пределах указанной зоны находится ловушка углеводородов Сулак [6].

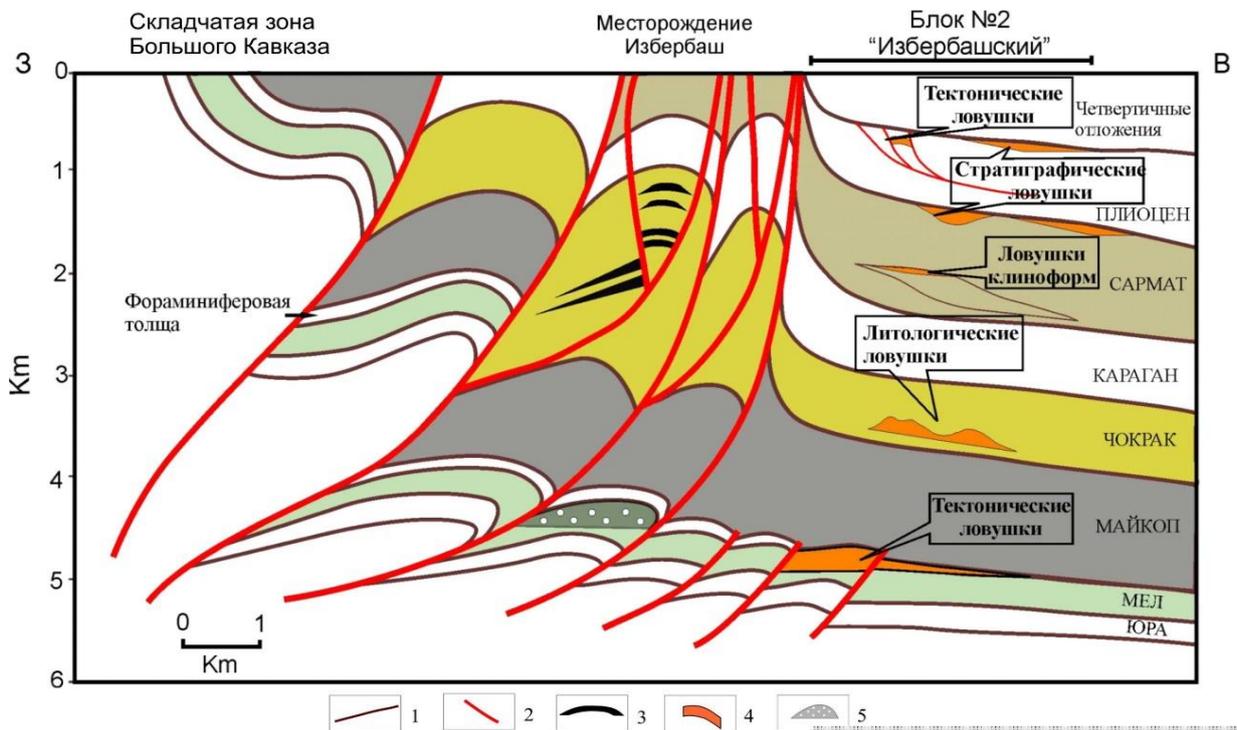


Рисунок 7 – Принципиальная схема строения мезо-кайнозойских отложений суши и шельфа Южного Дагестана и распределение в них ловушек и залежей углеводородов:
 1 – геологические границы; 2 – разломы надвигового типа; 3 – нефтяные залежи;
 4 – прогнозируемые по сейсмическим данным перспективные ловушки углеводородов;
 5 – газоконденсатные залежи

Области формирования потенциальных ловушек углеводородов

На этапе обобщения данных по региональным профилям были выделены аномалии сейсмического волнового поля, связанные с потенциальными ловушками углеводородов.

В юго-западной части участка недр по результатам интерпретации профилей RegVII и 020302 выделяется область возможного формирования ловушки углеводородов в плиоценовых отложениях (рисунок 8). Данные ловушки могут быть сфор-

мированы тектоническим экранированием пластов коллекторов в пределах локального антиклинального поднятия.

В северо-западной части участка недр на профиле RegVII выделяется серия антиклинальных перегибов по пластам верхнесарматских клиноформных комплексов (рисунок 9). Исходя из региональной пространственной ориентировки и строения клиноформных комплексов, в условиях, в целом, моноклинального залегания осадочных толщ, можно предположить наличие литологических локально замкнутых поисковых объектов.

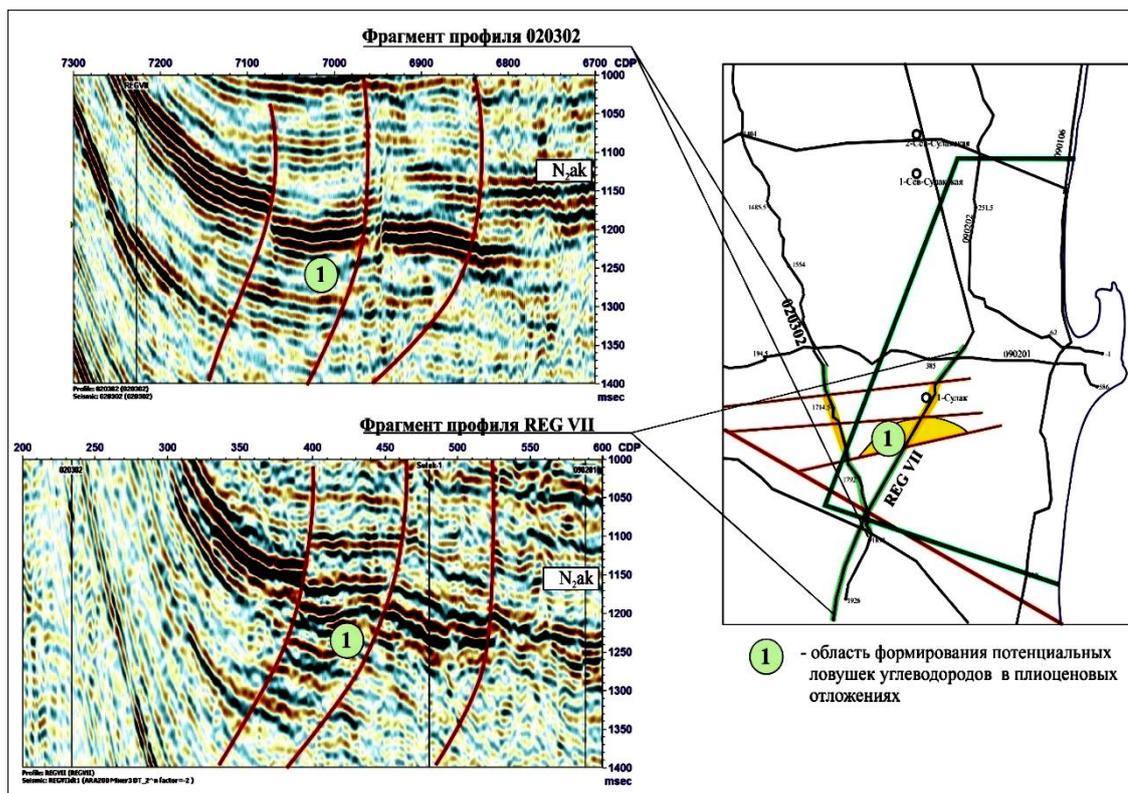


Рисунок 8 – Приразломные потенциальные ловушки углеводородов в плиоценовых отложениях

В центральной части участка недр по результатам интерпретации профилей RegVII и 090201 в чокракских отложениях локализована потенциальная ловушка углеводородов, связанная с тектоническим нарушением сколового типа (рисунок 9). На её перспективность указывают газопроявления в чокракских отложениях, выявленные в ходе испытаний скважины Сулакская – 1, расположенной на южном окончании предполагаемой залежи.

На профиле RegVII на трассах 760-940 выделены амплитудные аномалии отражений, связанных с пачкой «г» в низах чокракского горизонта (рисунок 10).

Данные аномалии связываются с зоной повышения песчаности отложений при переходе от относительно глубоководных условий седиментации к мелководным и последующим выклиниванием пластов. Помимо выклинивания пласты пород-коллекторов могут быть ограничены вверх по восстанию и тектоническими нарушениями, которые сопровождали внедрение

верхнемайкопских толщ в чокракские отложения. Наиболее интенсивно эти процессы проявляются на временном разрезе профиля 090106 (трассы 500-300). В этой зоне возрастает вероятность выявления тектонически экранированных ловушек.

Из подготовленных к поисково-оценочному бурению объектов наиболее перспективной на выявление залежи углеводородов является Губечанская структура. Губечанская структура приурочена к антиклинальному осложнению шельфовой части верхнесарматской клиноформы. Она образует линейно-вытянутую с востока на запад антиклинальную складку, замыкающуюся по изогипсе 2440 м, размеры складки составляют 6,3 км × 2,3 км, высота около 25 м. В своде структуры выделяется сейсмическая амплитудно-частотная аномалия.

На вероятную продуктивность Губечанской структуры указывает сопоставление данных ГИС скважин Северо-Сулакская – 1 и Северо-Сулакская – 2. В

скважине Северо-Сулакская – 1, находящейся в контуре структуры на глубине сейсмической аномалии, выделяется пласт-коллектор с высоким сопротивлением, что

указывает на его вероятное углеводородное насыщение. В скважине Северо-Сулакская – 2, находящейся за пределами объекта, пласт-коллектор не выделяется.

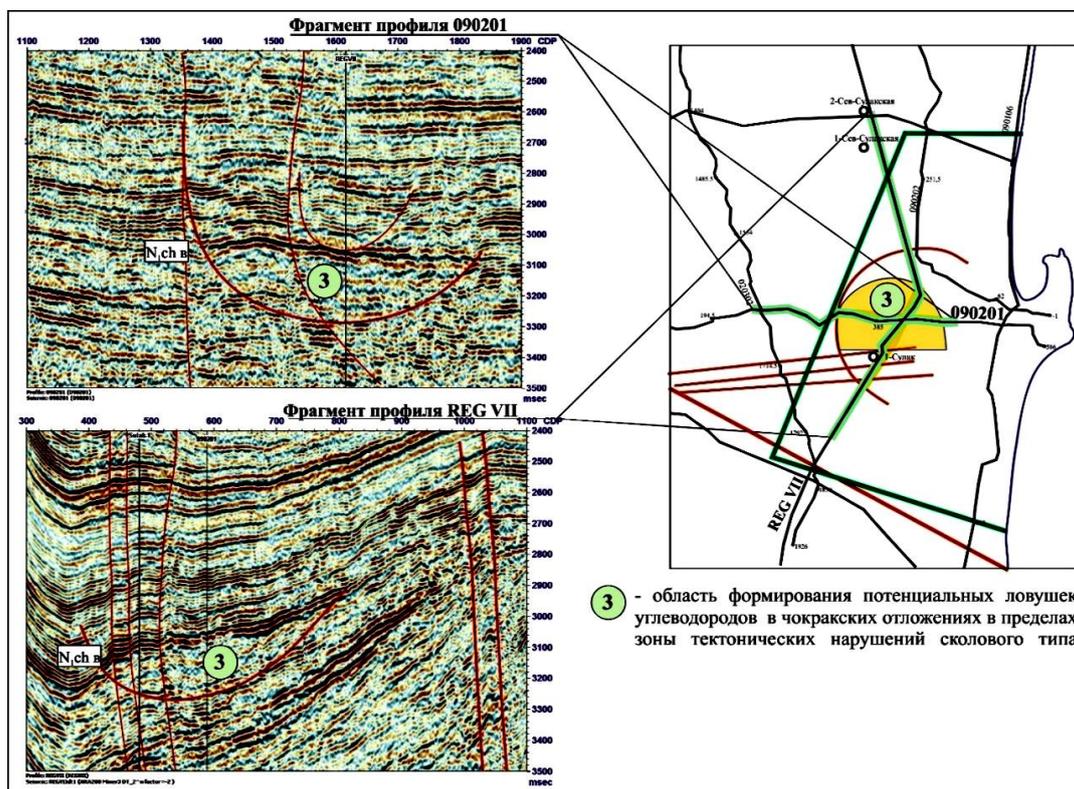


Рисунок 9 – Потенциальная литолого-стратиграфическая ловушка углеводородного типа в чокракских отложениях

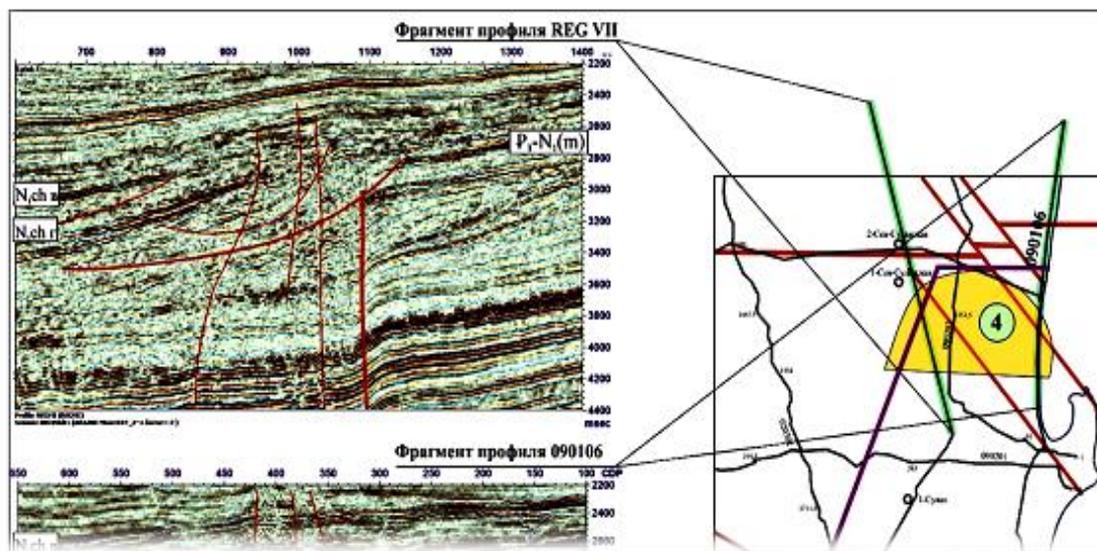


Рисунок 10 – Потенциальные литолого-стратиграфические и тектонически экранированные ловушки углеводородов в чокракских отложениях

В результате комплексной геолого-геофизической интерпретации на территории Сулакского лицензионного участка в плиоцен-неогеновых отложениях выявлено 11 перспективных объектов, на 4-х из которых подготовлены паспорта структур и по которым на учет Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации месторождений на 01.01.2015 г. поставлены ресурсы категории С3 в суммарном объеме: по газу 89 356 млн. м³, по нефти 39 580/13 457 тыс. т (геологические/извлекаемые).

Участок недр «Сулакский» находится в пределах области сопряжения юго-западного борта Терско-Каспийского прогиба и фронтальной части Дагестанского клина. Аналогичные тектоно-седиментационные условия имеют отложения 12-ти мильной зоны дагестанского сектора шельфа Каспийского моря [3, 6]. Результаты поисково-оценочного бурения на локализованных в пределах участка недр «Сулакский» потенциальных нефтегазоносных объектов являются «ключом» к освоению их аналогов в пределах дагестанского сектора шельфа Каспия.

Выводы

1. Данные современной сейсморазведки подтверждают и уточняют взбросо-надвиговую модель месторождений и позволяют прогнозировать новые перспективные ловушки на суше. Они свидетельствуют о значительном потенциале для увеличения запасов и добычи углеводородов на шельфе Дагестана, где выделены различные типы новых перспективных ловушек в отложениях от юры-мела до плиоцена включительно.

Наиболее крупной и перспективной ловушкой является песчаное тело типа подводного конуса выноса в чокракских отложениях.

2. Анализ геологических моделей ловушек углеводородов показывает, что в пределах суши Южного Дагестана возможно выявление, в основном, мелких по запасам (менее 1 млн. т условного топлива), а на территории шельфа – крупных и средних по запасам залежей углеводородов, тектоническое сходство которых позволяет использовать ловушки на суше, как аналоги морских.

Библиографический список

1. Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев Д.А., Алиев Р.М., Серебряков В.А. Геология нефтегазовых месторождений Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря: монография. Махачкала: Даг. книжное изд., 2001. 297 с.
2. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недр, 2004. 342 с.
3. Орел В.Е., Распопов Ю.В., Скрипник А.П. и др. Геология и нефтегазоносность Предкавказья. М.: ГЕОС, 2001. 299 с.
4. Немцов Н.И., Гумаров Р.К., Капалин А.Б., Алиев Р.М. Новые объекты поисков углеводородов на российском шельфе Каспия (Республика Дагестан) // Геология нефти и газа. 2011. № 2. С. 56-63.
5. Хлебников П.А., Клещев К.А., Голов А.А. Тенденции и проблемы развития ресурсной базы российской нефтегазовой отрасли // Разведка и охрана недр. 2008. № 9. С.100 -103.
6. Алиев Р.М., Гумаров Р.К. Перспективы нефтегазоносности Терско-Каспийского прогиба на территории равнинного Дагестана // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Т. 42. № 3. С. 131-143.
7. Левченко О.В., Путанс В.А., Борисов Д.Г. Циркумкаспийский контуритовый комплекс // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2017. № 1, Вып. 33. С.12-19.
8. Куранов Ю.В., Шарафутдинов В.Ф., Калабин В.В., Сианисян В.С., Шлыгин Д.А. Особенности формирования залежей углеводородов и перспективы нефтегазоносности мезозойского ком-

плекса вала Карпинского и Восточно-Маньчского прогиба в Республике Калмыкия // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 2. С. 9-14.

9. Дорофеев Н.В., Остроухов С.Б. Формирование, переформирование и деградация нефтяных залежей Среднего Каспия // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. № 12, С. 4-10.

10. Лесной А.Н., Дорофеев Н.В., Бочкарев А.В., Ананьева Е.В., Осипова Ю.С. Роль разрывной тектоники в понимании особенностей строения, формирования и разработки морских месторождений Среднего Каспия // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 3. С. 22-33.

11. Дорофеев Н.В., Осипова Ю.С. Дифференциация перспективности слабоосвоенных участков акватории Среднего Каспия // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений». 2017. № 1. С. 25-39.

12. Остроухов С.Б., Бочкарев В.А. Геолого-геохимические критерии формирования залежей углеводородов Среднего и Северного Каспия // Зоны концентрации УВ в нефтегазоносных бассейнах суши и акваторий. СПб.: ВНИГРИ, 2010. С. 408-413.

13. Быстрова И.В., Смирнова Т.С., Бычкова Д.А., Мелихов М.С. История изучения и методология геолого-геофизического исследований шельфовой зоны Российского сектора Каспийского моря [Электронный ресурс]. Электрон. текстовые дан. Режим доступа: <https://clck.ru/QLFgc> доступ (23.04.2020).

14. Быстрова И.В., Смирнова Т.С., Федорова Н.Ф., Мелихов М.С. Роль освоения территории Западного Каспия в связи с нефтегазоносностью // Горные науки и технологии. 2016. № 3. С. 29-45.

15. Быстрова И.В., Смирнова Т.С., Федорова Н.Ф. Палеотектоника и нефтегазоносность Северо-Западного Прикаспия: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, BERT Academic Publishing, 2017. 212 с.

16. Быстрова И.В., Смирнова Т.С., Федорова Н.Ф., Мангаладзе Р.Т. Особенности палеотектонического развития Астраханского свода и перспективы нефтегазоносности западной части Прикаспийской впадины // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 3 (66). С. 79-89.

17. Гаджи-Касумов А.С., Мустаев Р.Н., Мукашева Н.В. и др. Особенности генерации углеводородов в Южно-Каспийском бассейне // Углеводородный потенциал больших глубин: Энергетические ресурсы будущего – реальность и прогноз: сборник тезисов 1-й международной конференции. Баку: Nafta-Press, 2012. С. 47-55.

18. Исмаил-Заде А.Д. Корреляция нефтегазообразования в Каспийском бассейне с циклами тектоно-магматической активизации Кавказа // X геофизические чтения им. В.В. Федынского. М.: ГЕОМ, 2011.

19. Остроухов С.Б., Бочкарев В.А. Геолого-геохимические критерии формирования залежей углеводородов Среднего и Северного Каспия // Зоны концентрации УВ в нефтегазоносных бассейнах суши и акваторий. СПб.: ВНИГРИ. 2010. С. 408-413.

References

1. SHarafutdinov F.G., Mirzoev D.A., Aliev R.M., Serebryakov V.A. Geologiya neftegazovyh mestorozhdenij Dagestana i prilegayushchej akvatorii Kaspijskogo morya: monografiya. Mahachkala: Dag. knizhnoe izd., 2001. 297 s.

2. Glumov I.F., Malovickij YA.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional'naya geologiya i neftegazonosnost' Kaspijskogo morya. M.: Nedra, 2004. 342 s.

3. Orel V.E., Raspopov YU.V., Skripnik A.P. i dr. Geologiya i neftegazonosnost' Predkavka-z'ya. M.: GEOS, 2001. 299 s.

4. Nemcov N.I., Gumarov R.K., Kapalin A.B., Aliev R.M. Novye ob'ekty poiskov uglevodo-rodov na rossijskom shel'fe Kaspiya (Respublika Dagestan) // Geologiya nefiti i gaza. 2011. № 2. S. 56-63.

5. Hlebnikov P.A., Kleshchev K.A., Golov A.A. Tendencii i problemy razvitiya resursnoj bazy ros-

sijskoj neftegazovoj otrasli // Razvedka i ohrana nedr. 2008. № 9. S.100 -103.

6. Aliev R.M., Gumarov R.K. Perspektivy neftegazonosnosti Tersko-Kaspijskogo progiba na territorii ravninnogo Dagestana // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016. T. 42. № 3. S. 131-143.

7. Levchenko O.V., Putans V.A., Borisov D.G. Cirkumkaspijskij konturitovyj kompleks // Vestnik Kraunc. Nauki o Zemle. 2017. № 1, Vyp. 33. S.12-19.

8. Kuranov YU.V., SHarafutdinov V.F., Kalabin V.V., Sianisyan V.S., SHlygin D.A. Osobenno-sti formirovaniya zalezhej uglevodorodov i perspektivy neftegazonosnosti mezozojskogo kom-pleksa vala Karpinskogo i Vostochno-Manychskogo progiba v Respublike Kalmykiya // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2017. № 2. S. 9-14.

9. Dorofeev N.V., Ostrouhov S.B. Formirovanie, pereformirovanie i degradaciya neftya-nyh zalezhej Srednego Kaspiya // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mesto-rozhdenij. 2015. № 12, S. 4-10.

10. Lesnoj A.N., Dorofeev N.V., Bochkarev A.V., Anan'eva E.V., Osipova YU.S. Rol' razryvnoj tektoniki v ponimanii osobenostej stroeniya, formirovaniya i razrabotki morskikh mesto-rozhdenij Srednego Kaspiya // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2017. № 3. S. 22-33.

11. Dorofeev N.V., Osipova YU.S. Differenciaciya perspektivnosti slaboosvoennyh uchastkov akvatorii Srednego Kaspiya // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mesto-rozhdenij». 2017. № 1. S. 25-39.

12. Ostrouhov S.B., Bochkarev V.A. Geologo-geohimicheskie kriterii formirovaniya zalezhej uglevodorodov Srednego i Severnogo Kaspiya // Zony koncentracii UV v neftegazonosnyh bas-sejnah sushi i akvatorij. SPb.: VNIGRI, 2010. S. 408-413.

13. Bystrova I.V., Smirnova T.S., Bychkova D.A., Melihov M.S. Istoriya izucheniya i metodologiya geologo-geofizicheskogo issledovanij shelfovoj zony Rossijskogo sektora Kaspijskogo morya [Elektronnyj resurs]. Elektron. tekstovye dan. Rezhim dostupa: <https://clck.ru/QLFgc> dostup (23.04.2020).

14. Bystrova I.V., Smirnova T.S., Fedorova N.F., Melihov M.S. Rol' osvoeniya territorii Zapadnogo Kaspiya v svyazi s neftegazonosnost'yu // Gornye nauki i tekhnologii. 2016. № 3. S. 29-45.

15. Bystrova I.V., Smirnova T.S., Fedorova N.F. Paleotektonika i neftegazonosnost' Severo-Zapadnogo Prikaspiya: monografiya. LAP LAMBERT Academic Publishing, BERT Academic Publishing, 2017. – 212 s.

16. Bystrova I.V., Smirnova T.S., Fedorova N.F., Mangaladze R.T. Osobennosti paleotektonicheskogo razvitiya Astrahanskogo svoda i perspektivy neftegazonosnosti zapadnoj chasti Prikaspijskoj vpadiny // Geologiya, geografiya i global'naya energiya. 2017. № 3 (66). S. 79-89.

17. Gadzhi-Kasumov A.S., Mustaev R.N., Mukasheva N.V. i dr. Osobennosti generacii uglevodorodov v YUzhno-Kaspijskom bassejne // Uglevodorodnyj potencial bol'shikh glubin: Energeticheskie resursy budushchego – real'nost' i prognoz: sbornik tezisov 1-j mezhdunarodnoj konferencii. Baku: Nafta-Press, 2012. S. 47-55.

18. Ismail-Zade A.D. Korrelyaciya neftegazoobrazovaniya v Kaspijskom bassejne s ciklami tektono-magmaticeskoy aktivizacii Kavkaza // H geofizicheskie chteniya im. V.V. Fedynskogo. M.: GEOM, 2011.

19. Ostrouhov S.B., Bochkarev V.A. Geologo-geohimicheskie kriterii formirovaniya zalezhej uglevodorodov Srednego i Severnogo Kaspiya // Zony koncentracii UV v neftegazonosnyh bas-sejnah sushi i akvatorij. SPb.: VNIGRI. 2010. S. 408-413.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 21.01.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 13.02.2022

Принята к публикации / Accepted 17.02.2022

© P.M. Алиев, Ш.М. Курбанов, 2022

Сведения об авторах
List of Authors

Алиев Расул Магомедович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

Rasul Aliev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Oil and Gas Department, Daghestan State Technical University.

Курбанов Шамиль Магомедрасулович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Дагестанского государственного технического университета.

Shamil Kurbanov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Drilling Oil and Gas Wells, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алиев Р.М., Курбанов Ш.М.* Исследование областей формирования потенциальных ловушек углеводородов на суше Южного Дагестана и шельфе Каспия // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 3 - 16. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-3-16.

For citation: *Aliev R.M., Kurbanov Sh.M.* Investigation of the formation areas of potential hydrocarbon traps on the land of Southern Dagestan and the Caspian shelf // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 3 - 16. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-3-16.

ДАВЛЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДЕ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМ ОТБОРОМ ИЛИ ПОДКАЧКОЙ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ РЕЖИМЕ

М.С. Пармузина, В.В. Люосев

Ухтинский государственный технический университет, Ухта
169300, Россия, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, 13
mhozyainova@ugtu.net, lyusev.viktor@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрено изменение давления газа в трубопроводе с отбором или подкачкой. На основе исследований Чарного И.А. о движении реальной жидкости в трубах получено уравнение в частных производных для участка газопровода. Приведено решение этого уравнения в стационарном случае. С использованием стандартных методик определен массовый расход газа при отборе (подкачке) через трубопровод-отвод. Были произведены расчеты давления в точках отбора (подкачки), графически представлена динамика давления в данных точках.

Ключевые слова: давление в газопроводе, расход газа, отбор, подкачка, газопровод-отвод.

Abstract. The paper considers the change in gas pressure in a pipeline with withdrawal or pumping. On the basis of researches of Charnyi I.A. about movement of real liquid in pipes the equation in partial derivatives for a section of a gas pipeline has been obtained. Solution of this equation in stationary case has been given. Mass flow rate of gas at gas extraction (pumping) through a pipeline branch has been determined with the use of standard techniques. Calculations of pressure in the points of withdrawal (pumping) have been made, pressure dynamics in these points has been graphically represented.

Key words: pressure in the gas pipeline, gas flow rate, withdrawal, pumping, gas pipeline outlet.

Введение

Неустановившиеся процессы на горизонтальных участках газопроводов описываются системой дифференциальных уравнений [1, 2, 3]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\lambda \rho v^2}{2D}, \\ -\frac{\partial P}{\partial t} = c^2 \frac{\partial Q}{\partial x}, \end{cases} \quad (1)$$

где P – давление; t – время; c – скорость звука транспортируемой среды; $Q = \rho \cdot v$ – массовая скорость; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность; v – скорость; D – внутренний диаметр трубопровода.

Система (1) нелинейна из-за квадрата

скорости в первом уравнении системы. Чарный И.А. [1] предложил усреднить

$\left(\frac{\lambda \cdot v}{2 \cdot D}\right)_{cp} = 2a$. После такой линейризации

(1) принимает вид:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial t} + 2aQ, \\ -\frac{\partial P}{\partial t} = c^2 \frac{\partial Q}{\partial x}. \end{cases} \quad (2)$$

Систему (2) можно преобразовать и привести к одному уравнению относительно давления или массовой скорости. Относительно давления (2) принимает вид:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} + \frac{2a}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t}. \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает нестационарную динамику давления с учётом сил инерции (первое слагаемое в правой части) и сил сопротивления, связанных с трением о стенки трубы (второе слагаемое в правой части).

Анализ решения уравнения (3) показывает, что давление уже за небольшой промежуток времени от начала процесса практически не зависит от времени, то есть процесс становится стационарным [5]. Динамика давления при этом будет зависеть от вида граничных условий.

При постоянных граничных условиях первого рода вместо уравнения (3) можно рассматривать:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} = 0 \quad \text{при} \quad P_{x=0} = P_n, \quad P_{x=L} = P_k, \quad (4)$$

решение которого будет:

$$P(x) = P_n + \frac{P_k - P_n}{L} x. \quad (5)$$

Пусть на участке газопровода длиной L в точке $x = c$ производится постоянный отбор или подкачка с массовой скоростью Q (рисунок 1). В этом случае для зон I и II необходимо решить уравнения:

$$\frac{d^2 P_1}{dx^2} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d^2 P_2}{dx^2} = 0, \quad (6)$$

решениями которых будут:

$$P_1(x) = A_1 + B_1 x \quad \text{и} \quad P_2(x) = A_2 + B_2 x \quad (7)$$

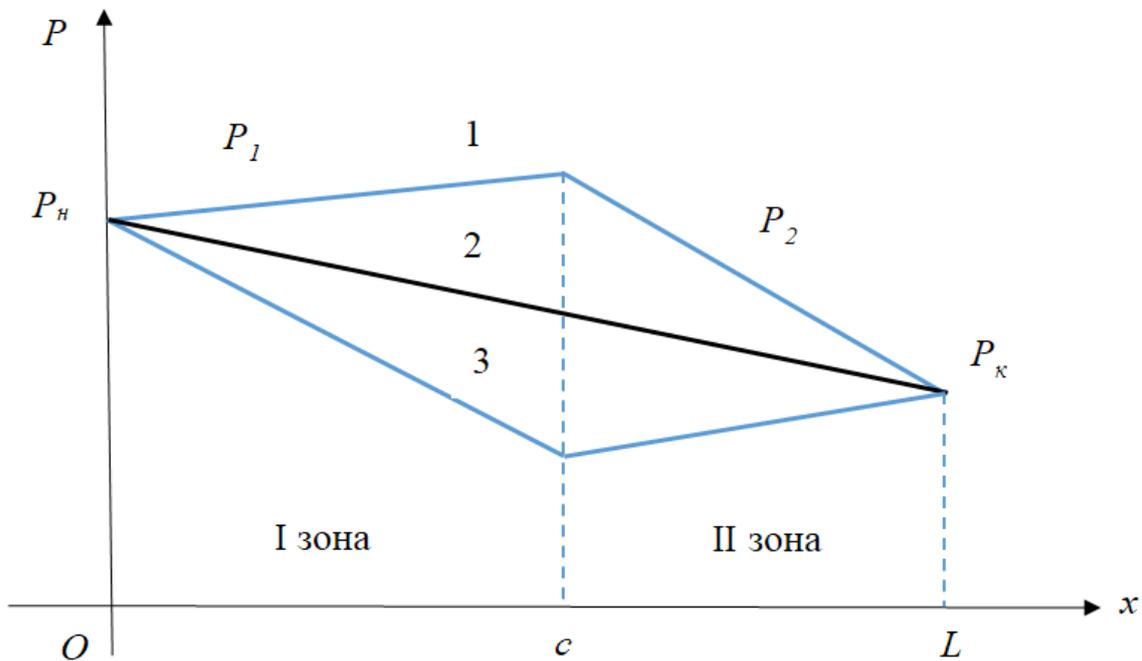


Рисунок 1 – Схематическое изображение давления: 1 – подкачка в сечении $x = c$; 2 – нет подкачки и отбора; 3 – отбор в сечении $x = c$

Давление в зонах I и II будет различным. В сечении $x = c$ значение давления должно быть одинаковым [4], то есть:

$$P_1|_{x=c} = P_2|_{x=c}. \quad (8)$$

Наличие постоянного отбора (подкачки) в точке $x = c$ приводит к разрыву расхода в этой точке. Массовые расходы в зонах

можно вычислить соответственно $\frac{F}{2a} \frac{dP_1}{dx}$ и

$\frac{F}{2a} \frac{dP_2}{dx}$ [3]. Разность расходов при $x = c$ будет равна:

$$\left(\frac{dP_1}{dx} - \frac{dP_2}{dx} \right)_{x=c} = \pm 2a \frac{G}{F}, \quad (9)$$

где F – площадь сечения трубопровода; G

– массовый расход в единицу времени
 Знак «минус» в (9) берётся при отборе;
 знак «плюс» – при подкачке.

Будем определять произвольные постоянные A_i , B_i в решении (7) с учётом условий (8) и (9).

Подчиняя решение (7) граничным условиям (8), получим:

$$P_1(x) = P_n + B_1x \quad \text{и} \quad P_2(x) = P_k + B_2(x-L) \quad (10)$$

Давление является функцией непрерывной, то есть при $x = c$ выполняется:

$$P_n + B_1c = P_k + B_2(c-L),$$

то есть:

$$B_1c - B_2(c-L) = P_k - P_n. \quad (11)$$

Решая систему (13), находим B_1 и B_2 :

$$B_1 = \frac{P_k - P_n}{L} - \frac{2aG}{F} \left(1 - \frac{c}{L}\right) \quad \text{и} \quad B_2 = \frac{P_k - P_n}{L} + \frac{2aG}{F} \frac{c}{L}. \quad (14)$$

Динамика давления при отборе на рассматриваемых участках согласно (10) и (11) будет:

$$\begin{cases} P_1(x) = P_n + \left(\frac{P_k - P_n}{L} - \frac{2aG}{F} \left(1 - \frac{c}{L}\right) \right) x & \text{при } 0 \leq x \leq c, \\ P_2(x) = P_k + \left(\frac{P_k - P_n}{L} + \frac{2aG}{F} \frac{c}{L} \right) \cdot (x-L) & \text{при } c \leq x \leq L. \end{cases} \quad (15)$$

Проверка показывает, что условия (8) и (9) выполняются.

Если в сечении $x = c$ происходит подкачка массовым притоком G , то

$$\begin{cases} P_1(x) = P_n + \left(\frac{P_k - P_n}{L} + \frac{2aG}{F} \left(1 - \frac{c}{L}\right) \right) x & \text{при } 0 \leq x \leq c, \\ P_2(x) = P_k + \left(\frac{P_k - P_n}{L} - \frac{2aG}{F} \frac{c}{L} \right) \cdot (x-L) & \text{при } c \leq x \leq L. \end{cases} \quad (16)$$

Заметим, что уравнения (6) не учитывают реальные свойства транспортируемой среды, но в расчёты давления (15) и (16) входит параметр $\frac{\lambda v}{2D} = 2a$. Этот параметр характеризует скорость и гидравлическое сопротивление.

Пример расчёта газопровода

Подчиняем (11) условию (9):

$$B_1 - B_2 = -2a \frac{G}{F}. \quad (12)$$

Для определения B_1 и B_2 получим линейную систему уравнений:

$$\begin{cases} B_1c - B_2(c-L) = P_k - P_n, \\ B_1 - B_2 = -2a \frac{G}{F} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} B_1 - B_2 \frac{c-L}{c} = \frac{P_k - P_n}{c}, \\ B_1 - B_2 = -2a \frac{G}{F}. \end{cases} \quad (13)$$

Построить графики давления в газопроводе длиной 80 км, диаметром 1020 мм при отборе и подкачке в точке $c = 40$ км и газопроводе-отводе длиной 40 км, диаметром 510 мм при отборе и подкачке в точке $c = 20$ км. Давления в начале и конце газопровода соответственно равны $P_n = 5$ МПа и $P_k = 3$ МПа. Для газопровода-отвода $P_{но} = 4$ МПа и $P_{ко} = 3$ МПа. Газовая постоянная R

= 500 Дж/(кг*°С). Температура газа 20 °С.

Решение. Абсолютная температура газа равна: $T = 273 + 20 = 293$ К.

Коэффициент гидравлического сопротивления вычислим по формуле (подставив диаметр в см):

$$\lambda = \frac{0,0555}{D^{0,4}} = \frac{0,0555}{102^{0,4}} = 0,0087.$$

Коэффициент отклонения реальных газов от закона идеальных и плотность га-

за принимаем средним по газопроводу, используя данные по ГОСТ [7], вычислим средние значения:

$$Z = (0,9098 + 0,9448)/2 = 0,9273.$$

$$\rho = (36,992 + 21,374)/2 = 29,183 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, массовая скорость газа в газопроводе будет равна:

$$Q = \sqrt{\frac{(P_n^2 - P_k^2)D}{\lambda ZRTL}} = \sqrt{\frac{(5^2 - 3^2) \cdot 10^{12} \cdot 1,02}{0,0087 \cdot 0,9273 \cdot 500 \cdot 293 \cdot 80000}} = 414,82 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2).$$

$$\text{Вычислим скорость газа: } v = \frac{Q}{\rho} = \frac{414,82}{29,183} = 14,21 \text{ м/с}.$$

Массовый расход газа в газопроводе будет равен:

$$G = Q \cdot F = Q \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 414,82 \cdot \frac{\pi \cdot 1,02^2}{4} = 338,96 \text{ кг/с}.$$

Вычислим параметр, входящий в уравнения систем (15), (16):

$$2a = \frac{0,0087 \cdot 14,21}{2 \cdot 1,02} = 0,061.$$

Далее проведём расчёты для отвода.

$$\lambda_o = \frac{0,0555}{D_o^{0,4}} = \frac{0,0555}{51^{0,4}} = 0,0115;$$

$$Z_o = (0,9270 + 0,9448)/2 = 0,9359;$$

$$\rho_o = (29,044 + 21,374)/2 = 25,209 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_o = \sqrt{\frac{(P_{но}^2 - P_{ко}^2)D_o}{\lambda_o Z_o RTL_o}} = \sqrt{\frac{(4^2 - 3^2) \cdot 10^{12} \cdot 0,51}{0,0115 \cdot 0,9359 \cdot 500 \cdot 293 \cdot 40000}} = 237,76 \text{ кг/(с} \cdot \text{м}^2);$$

$$v_o = \frac{Q_o}{\rho_o} = \frac{237,76}{25,209} = 9,43 \text{ м/с};$$

$$G_o = Q_o \cdot F_o = Q_o \cdot \frac{\pi D_o^2}{4} = 237,76 \cdot \frac{\pi \cdot 0,51^2}{4} = 48,57 \text{ кг/с}.$$

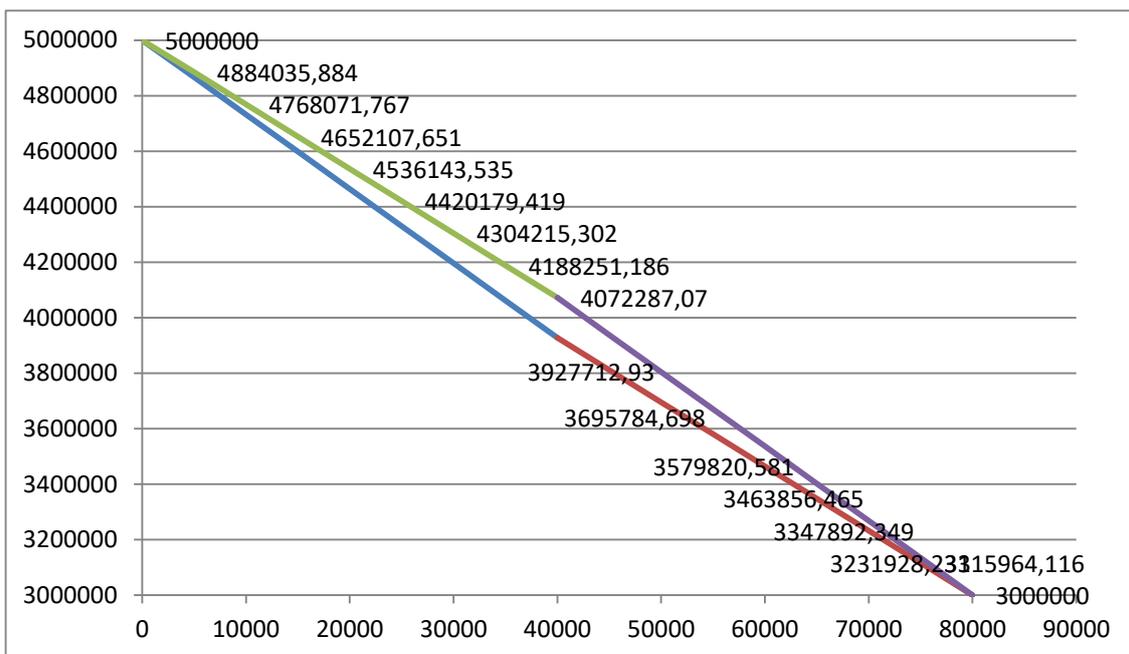


Рисунок 2 – Динамика давления в газопроводе

На основании полученных данных был построен в *Excel* график зависимости давления газа от расстояния (рисунок 2).

Выводы

Анализ полученных решений показал, что в случае отбора (подкачки) величина

давления в газопроводе уменьшается (увеличивается) прямо пропорционально расходу отбора (подкачки). С учетом полученных формул можно произвести расчеты для различных трубопроводов (разной длины, диаметра и с подкачкой (отбором) на разных участках).

Библиографический список

1. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.: Недра, 1975. 296 с.
2. Бобровский С.А., Яковлев Е.И. Газовые сети и газохранилища. М.: Недра, 1980. 413 с.
3. Бобровский С.А., Щербаков С.Г., Гусейнзаде М.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. М.: Наука, 1972. 192 с.
4. Сложные трубопроводные системы / В.В. Грачев, Б.И. Ксенз, Е.И. Яковлев. М.: Недра, 1982. 256 с.
5. Динамика давления газа в газопроводе с путевым отбором и подкачкой / Чупров И.Ф., Секутов В.В., Пармузина М.С. // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19. № 3. С. 80-86.
6. Рабинович Е.З. Гидравлика: учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1980. 278 с.
7. ГСССД 160–93. Таблицы стандартных справочных данных. Газ природный расчётный. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоёмкость, скорость звука, показатель адиабаты и коэффициент объёмного расширения при температурах 250...450 К и давлениях 0,1...12 МПа. М.: Госстандарт, 1993. 21 с.

References

1. Charny I. A. Unsteady movement of real fluid in pipes. M.: Nedra, 1975. 296 p.
2. Bobrovsky S.A., Yakovlev E.I. Gas networks and gas storage facilities. M.: Nedra, 1980. 413 p.

3. Bobrovsky S.A., Shcherbakov S.G., Huseynzade M.A. Gas movement in gas pipelines with track selection. M.: Nauka, 1972. 192 p.
4. Complex pipeline systems / V.V. Grachev, B.I. Ksenz, E.I. Yakovlev. M.: Nedra, 1982. 256 p.
5. Dynamics of gas pressure in a gas pipeline with track selection and pumping / Chuprov I.F., Sekutov V.V., Parmuzina M.S. // Oil and gas business. 2021. Vol. 19, No. 3. pp. 80-86.
6. Rabinovich E.Z. Hydraulics : a textbook for universities. Moscow: Nedra, 1980. 278 p.
7. GSSSD 160-93. Tables of standard reference data. Natural gas is calculated. Density, compressibility factor, enthalpy, entropy, isobaric heat capacity, sound velocity, adiabatic index and volume expansion coefficient at temperatures of 250...450 K and pressures of 0.1...12 MPa. M.: Gosstandart, 1993. 21 p.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 02.04.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 07.04.2022

Принята к публикации / Accepted 09.04.2022

© М.С. Пармузина, В.В. Люосев, 2022

Сведения об авторах **List of Authors**

Пармузина Мария Семеновна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры высшей математики Ухтинского государственного технического университета.

Maria Parmuzina – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Ukhta State Technical University.

Люосев Виктор Владимирович – студент кафедры проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов Ухтинского государственного технического университета.

Viktor Lyuosev – Student of the Department of Design and Operation of Main Gas and Oil Pipelines, Ukhta State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Пармузина М.С., Люосев В.В.* Давление в трубопроводе с сосредоточенным отбором или подкачкой при установленном режиме // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 17 - 22. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-17-22.

For citation: *Parmuzina M.S., Lyuosev V.V.* Pressure in the pipeline with concentrated withdrawal or sub-pumping under the set mode // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 17 - 22. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-17-22.

**РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ
РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Н.К. Юрков

Пензенский государственный университет, Пенза
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. При принятии решения об адекватности генерируемых при проектировании вариантов радиоэлектронных средств существенную роль играет информация об их отказоустойчивости и живучести. Для возможности обеспечения простого сравнения проектных решений информация должна быть представлена некоторым критерием, связанным с текущим вариантом конструкции и условиями ее будущей эксплуатации. Дальнейшее развитие подобного подхода предполагает возможность синтеза оптимального по критерию надежности изделия за счет реформирования структуры и создания схем, способных восстановить функционирование изделия. Предложено повысить точность цифровых моделей, снизить суммарную погрешность моделирования, возникающую и накапливающуюся при передаче цифровой модели изделия от одного этапа жизненного цикла на другой. Показано, что теория межмодельного взаимодействия позволяет улучшить качество моделирования на каждом последующем этапе за счет оптимизации процесса моделирования на предшествующем этапе. При этом каждая цифровая модель предыдущего этапа повышает точность моделирования.

Ключевые слова: радиоэлектронное средство, цифровая модель, компьютерно-имитационное моделирование, межмодельное взаимодействие.

Abstract. When deciding on the adequacy of the radio-electronic equipment options generated during the design, information about their fault tolerance and survivability plays a significant role. To be able to provide a simple comparison of design solutions, it is necessary that the information be represented by some criterion that is directly related to the current design option and the conditions of the future operation of the system. Further development of such an approach assumes the possibility of synthesizing a product that is optimal in terms of the reliability criterion by reforming the structure and creating circuits that can restore the functioning of the device. It is proposed to improve the accuracy of digital models, to reduce the total modeling error that arises and accumulates during the transition of a digital model of a product from one stage of the life cycle to another. It is shown that the theory of inter-model interaction makes it possible to improve the quality of modeling at the next stage of the product life cycle by optimizing the modeling process at the previous stage. Each digital model of the previous stage increases the simulation accuracy.

Key words: electronic means, digital model, computer simulation, inter-model interaction.

Введение

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) созданы в разное время, разными командами разработчиков, работают под управлением разных операционных систем, используют разнообразные системы координат и мер, обозначений элементов, материалов и т.д. При этом в процессе проектирования сложного продукта подобные САПР должны, взаимодействуя друг с другом, обмениваться данными. Учитывая, что проектирование – процесс итерационный, то каждый шаг передачи информации о проектируемом изделии, оборачивается некоторой ошибкой, вызываемой погрешностью преобразования, что, в конечном счете, может свести на нет все усилия разработчиков по повышению точности моделирования на каждом этапе жизненного цикла сложного наукоемкого изделия, к которым, несомненно, относятся и системы радиоэлектронного управления ответственного назначения. Поэтому проблема межмодельного взаимодействия становится все более актуальной и требует новых подходов к ее решению [1].

Сложные технические системы в процессе эксплуатации подвергаются детерминированным и стохастическим внешним воздействиям, приводящим к повреждениям элементов и связей различного вида: износу, поломке, засорению, выгоранию, обрыву и т.п. Накапливаясь, повреждения приводят к отказу – нарушению работоспособности объекта, которое определяется перечнем заданных параметров и допустимыми пределами их изменения [2].

Нарушение работоспособности может произойти при выходе значения хотя бы одного параметра за пределы, установленные требованиями нормативно-технической документации. Признаки, позволяющие установить факт такого нарушения, являются критериями отказа. Для радиоэлектронных средств (РЭС), которые,

несомненно, являются сложными техническими системами, этот критерий отказоустойчивости не всегда показателен, поскольку нарушение работоспособности отдельного элемента может не сказаться на работоспособности всей системы в целом [3].

При принятии решения об адекватности генерируемых в САПР вариантов РЭС существенную роль может сыграть информация об их стойкости к возможным повреждениям при будущей эксплуатации. Это связано, прежде всего, с тем, что такие системы, как правило, проектируют с запасом отказоустойчивости, т.е. набор элементов системы и связей между ними должны гарантировать ее живучесть при отказе каких-либо отдельных или групп компонентов.

Такая информация на этапе проектирования в современной конструкторской практике выражается определенным набором косвенных показателей, оценка по которым не всегда определяет оптимальный выбор конструкции РЭС. Для возможности обеспечения простого сравнения проектных решений необходимо, чтобы эта информация была представлена некоторым критерием, непосредственно связанным с текущим вариантом конструкции объекта проектирования и условиями будущей эксплуатации самой системы.

Синтез оптимальной структуры радиоэлектронных средств на основе теории межмодельного взаимодействия

В РЭС возможно большое количество мест повреждений. Вероятность его безотказной работы может быть оценена статистически в результате проведения серии экспериментов, связывающих отказоустойчивость с количеством возникших повреждений [4], при этом p – статистическая оценка вероятности отказа системы; n – количество отказавших элементов и/или

связей между ними; n_1 – максимальное количество отказавших элементов и/или связей, при которых вероятность отказа равна нулю; n_2 – минимальное количество отказавших элементов и/или связей, при которых вероятность отказа равна единице.

Полученное семейство экспериментальных точек условно может быть разбито на три зоны:

- зона I: $0 \leq n \leq n_1$; $p = 0$ – повреждений не больше, чем n_1 ; система абсолютно работоспособна;

- зона II: $n_1 < n < n_2$; $0 < p < 1$ – повреждений больше, чем n_1 , но меньше, чем n_2 ; система сохраняет работоспособность лишь при некотором наборе этих повреждений;

- зона III: $n_2 \leq n$; $p = 1$ – повреждений больше, чем $n_2 - 1$; система неработоспособна при любом их наборе.

Таким образом, возможен подход, согласно которого на основе критериев сложных технических систем на этапе проектирования и расчета удастся выбрать оптимальную конструкцию, оценить ее отказоустойчивость при соответствующих режимах эксплуатации, определить режимы техобслуживания и техосмотров на разных этапах жизненного цикла РЭС, разработать рекомендации по осуществлению плановых и капитальных ремонтов [5].

Дальнейшее развитие подобного подхода предполагает возможность синтеза оптимального по критерию надежности изделия, обладающего запасами прочностей, но не за счет прямого резервирования отдельных элементов и/или узлов, а за счет реформирования структуры и создания элементов схем, способных восстановить функционирование устройства.

Цель – получить готовое изделие без обязательных доработок проекта на стадиях жизненного цикла, после изготовления опытного образца (уменьшить количество доводок изделия на реальном образце). Для этого необходимо повысить точ-

ность цифровых моделей, а главное снизить суммарную погрешность моделирования, возникающую и накапливающуюся при переходе цифровой модели изделия из одного пакета прикладных программ в другой [6].

Теория межмодельного взаимодействия позволяет улучшить качество моделирования на последующем этапе жизненного цикла (ЖЦ) изделия за счет оптимизации процесса моделирования на предшествующем этапе, а также получить результаты моделирования с предшествующего этапа, уточняющие требования к цифровым моделям последующих этапов ЖЦ [7]. При этом каждая цифровая модель предыдущего повышает точность моделирования последующего этапа.

Работа с современными компьютерными системами инженерного анализа (*Computer-Aided Engineering, CAE*) остается крайне трудоёмким и наукоёмким процессом, требующим наличия большого опыта в той области знаний, в которой проводится моделирование. Также, несмотря на значительно возросшую производительность вычислительной техники, ее мощностей на данном этапе развития все еще остается недостаточно для построения модели физико-химических процессов, позволяющей в полном объеме отразить все свойства реального радиоэлектронного узла с максимальной точностью. Это является достаточно серьезной проблемой, так как для получения точных результатов расчета необходимо, чтобы расчетная модель максимально точно отражала характеристики реального объекта со всех сторон, оценивала происходящих в них производительных процессы, а также процессы деградации их физико-химических параметров [8].

На сегодняшний день отработанными в некоторой степени можно считать только оценку механических параметров РЭС. Сегодня для проведения механических рас-

четов в основном используются упрощенные с геометрической точки зрения модели. Процесс упрощения исходной модели требует тесного сотрудничества конструктора и разработчика цифровых моделей, так как, зачастую, при упрощении модели человек без конструкторского опыта может кардинально изменить модель, что повлияет на адекватность последующих результатов, полученных при ее расчете в САЕ-системе [9].

Для большинства материалов несущих конструкций РЭС в справочной литературе отсутствуют необходимые для моделирования физико-механические параметры: модуль упругости и коэффициент Пуассона, плотность и коэффициент механических потерь (КМП), коэффициент зависимости КМП от механического напряжения. В связи с этим производится идентификация физико-механических и теплофизических параметров математических моделей РЭС в программе (как например, в системе АСОНИКА-ИД). Подсистема сопоставляет экспериментальные данные и результаты математического моделирования и определяет с высокой степенью точности вышеуказанные параметры математических моделей РЭС при воздействии различных дестабилизирующих факторов (гармонической вибрации и удара) [10].

Интерфейс программы АСОНИКА-ИД позволяет провести идентификацию параметров математических моделей РЭС при механических воздействиях – вибрациях и ударах. В качестве входных данных АСОНИКА-ИД запрашивает следующие параметры: геометрические параметры объекта (длина, ширина, толщина, размер дискрета, число и диаметр элементов креплений, отступ от края пластины); начальные параметры материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, КМП, плотность). Если необходимо, задаются дополнительные параметры: экспериментальная резонансная частота, число ите-

раций, ошибка, диапазоны изменений модуля упругости и коэффициента Пуассона. После проведения расчета выдаются результаты [11].

Помимо геометрических характеристик весьма весомую роль при моделировании механических процессов играют физико-механические параметры математических моделей, используемые в расчётах. Одной из серьёзных проблем при современном компьютерном моделировании реальных физических процессов является процесс идентификации физико-механических параметров рассчитываемой конструкции. При идентифицированных параметрах, учитывая, что геометрически расчётная модель максимально схожа с реальной конструкцией, удаётся добиться совпадения расчётных амплитудно-частотных характеристик конструкции с экспериментальными [8].

Отметим, что во многих приложениях отсутствует механизм идентификации физико-механических параметров и учёта нелинейности физико-механических свойств при возникающих в конструкции напряжениях, в то же время процесс идентификации параметров математических моделей позволяет [12]:

- провести экспериментальные исследования конструкции однократно и далее, проведя процесс идентификации физико-механических параметров конструкции, работать уже непосредственно с электронной моделью изделия;

- как следствие из вышесказанного – сокращение сроков производства, увеличение надёжности продукции, снижение влияния человеческого фактора на процесс производства высокотехнологичной, наукоёмкой и дорогостоящей продукции;

- путем проведения научных исследований накапливать электронные модели изделий с параметрами расчётных моделей наиболее близкими к параметрам реальных конструкций, что при современных

условиях производства является наиболее важным;

- существенно снизить стоимость готовой продукции, максимально используя компьютерное моделирование конструкции с идентифицированными параметрами на ранних этапах проектирования, учитывая, что процедура натуральных испытаний является крайне дорогостоящей и длительной во времени.

В процессе проектирования РЭС следует комплексно учитывать состав изделия, его принципиальную схему, влияние технологии изготовления, окружающей среды, а также человеческого фактора, который в немалой мере влияет на совокупные характеристики проектируемого изделия. Если представить изделие на

трех уровнях, как совокупность его макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры, то становится очевидной необходимость иерархического подхода к синтезу моделей систем, обеспечивающих на выходе требуемые эксплуатационные свойства и заданные параметры структуры изделия (рисунок 2). Анализ рисунка 2 показывает, что проблема межмодельного взаимодействия гораздо шире, чем казалось вначале. Правильный переход из одного иерархического уровня создания модели устройства в другой (и обратно) во многом определяет адекватность всей совокупности моделей, и тем самым позволяет сократить издержки производства сложных технических систем.

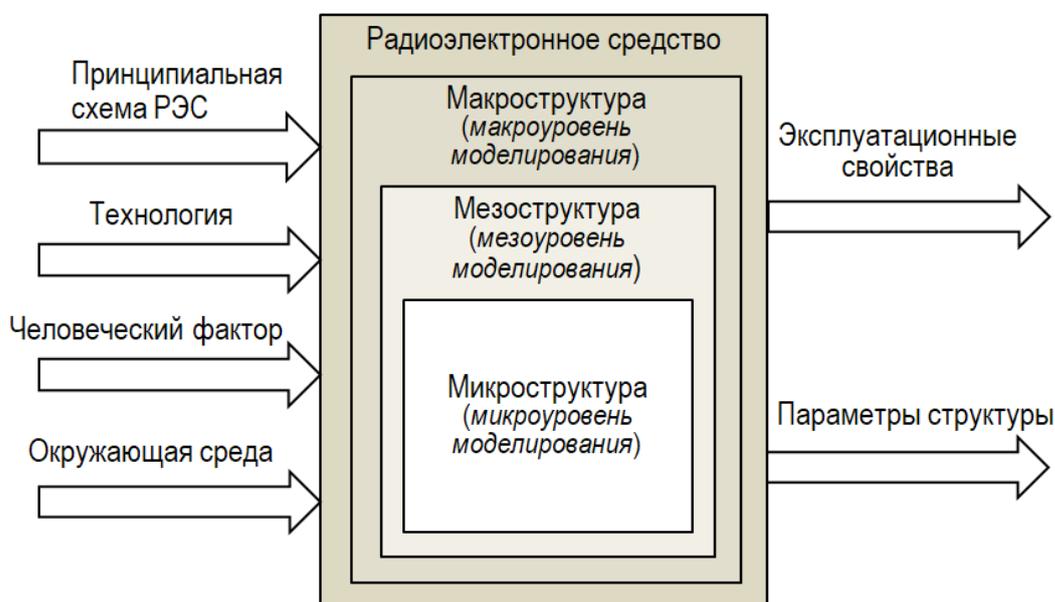


Рисунок 1 – Схема РЭС как объекта исследования

Радиоэлектронные средства со стороны окружающей среды находятся под воздействием целого ряда факторов, часть из которых (контролируемые воздействия) могут быть измерены, а часть (неконтролируемые воздействия) – не поддаются измерению и/или их влияние несущественно. В результате моделирования установ-

ливается взаимосвязь выходных параметров объекта

$$Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)] T,$$

характеризующих свойства объекта исследования, управляющих воздействий

$$U(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)] T,$$

поступающих со стороны субъекта и возмущений $Z(t)$ (рисунок 2).

Принимаем подход, основанный на представлении объекта в виде кибернетической системы, определяемой множеством входных воздействий

$X(t) = \{U(t), Z(t)\} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)] T$, среди которых есть контролируемые X^* и неконтролируемые E , а также множеством характеристик и ограничений Q , действующих в системе и накладываемых на X^* и E , $A = \{X^*, E, Q\}$. Математическая модель кибернетической системы устанавливает отображение F заданных множеств на множество выходных координат объекта

$$Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)] T, \\ F: \{X^*, E, Q\} \rightarrow Y, \text{ т.е. } A = \{X^*, E, Q\}.$$

Механизм идентификации модели можно представить как процесс повышения ранга R модели $M(R)$, как процесс сокращения неопределённости модели посредством выбора из множества моделей

$$M = M(v) = \{M(v + 1)\} | v = 0, 3$$

требуемой, за счёт привлечения дополнительной информации об объекте.

Классификация объектов по степени предварительной изученности и представление механизма построения модели в виде вложенной структуры позволяет определить требования к методам автоматизированного построения моделей (рисунок 2) [13].

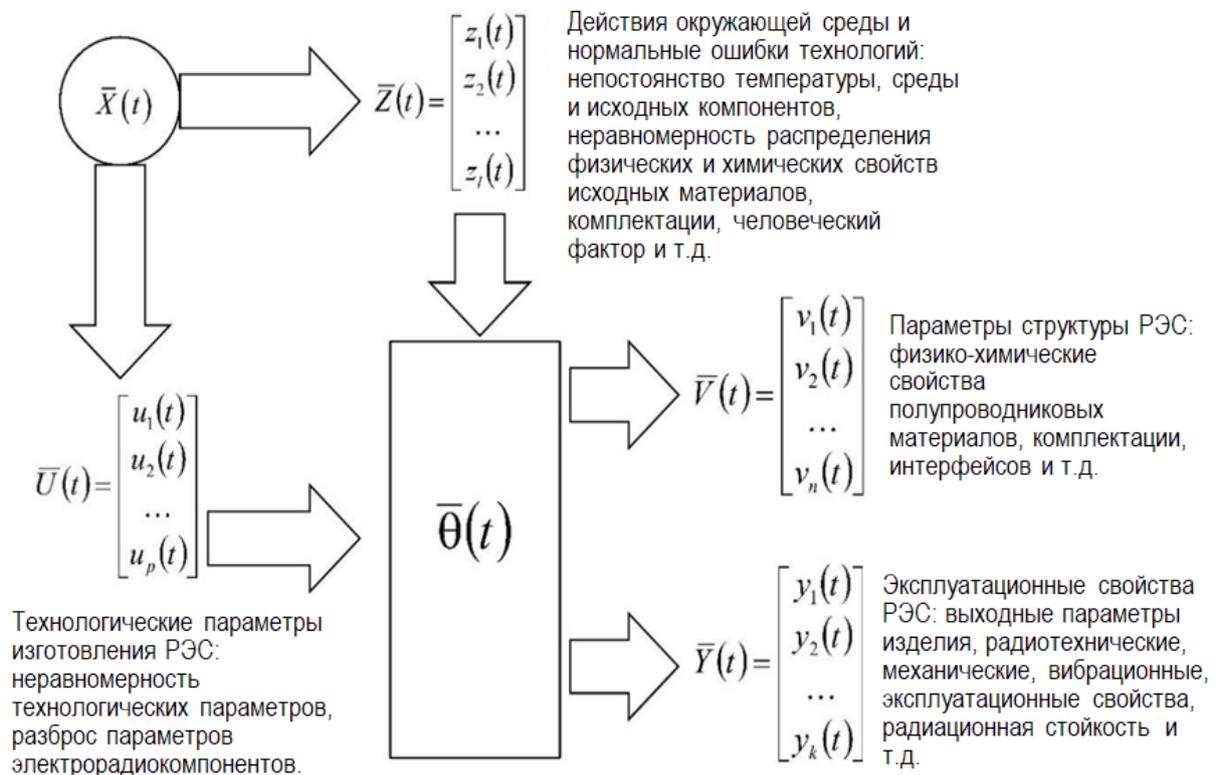


Рисунок 2 – Структурная схема объекта управления РЭС

При моделировании РЭС математические модели предполагается создавать для решения следующих задач: управление структурой устройства; прогноз получения заданных эксплуатационных свойств; выявление механизма явлений, протекающих в системе [9].

Для решения задачи систематизации и обобщения теории и практики моделирования РЭС предлагается система компьютерно-имитационного моделирования (рисунок 3), включающая в себя методологические принципы моделирования различных структур РЭС, методики проведения

численного и натурального экспериментов, методы моделирования макроструктуры РЭС с учётом моделирования микроструктуры, а также алгоритмы и комплексы про-

грамм, обеспечивающие получение эффективной технологии синтеза структур радиоэлектронных систем с заданными свойствами и параметрами структуры.

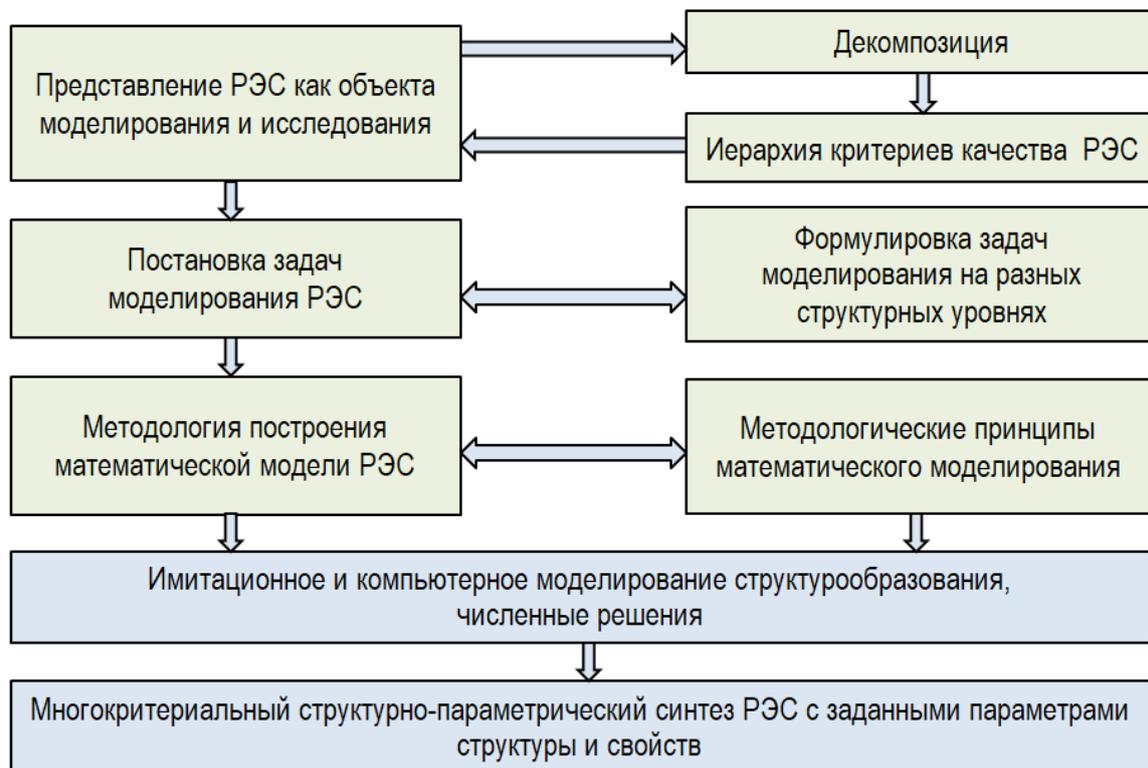


Рисунок 3 – Структура методологии математического моделирования РЭС

В качестве основы построения системы компьютерного моделирования РЭС предлагается принять следующие методологические принципы:

1. Стратифицированного моделирования макроструктуры РЭС на основе моделирования микроструктуры.

2. Моделирования нелинейных объектов РЭС на основе многоуровневых нелинейных преобразований координат.

3. Многофакторного моделирования РЭС на базе однофакторных моделей.

Предложенные принципы образуют единую целостную систему моделирования радиоэлектронных устройств специального назначения [14].

В соответствии с первым принципом РЭС рассматривается на нескольких уровнях абстрагирования реальных процессов

структурообразования, что позволяет проводить эффективное математическое моделирование и хорошо отражает объективные закономерности структурообразования и формирования свойств радиокомпонентов. Второй принцип дополняет методологию моделирования РЭС в части моделирования нелинейных объектов при помощи многоуровневых нелинейных преобразований координат. Указанный принцип позволяет проводить обоснованный выбор функциональных зависимостей, описывающих процессы структурообразования и набора эксплуатационных свойств полупроводниковых материалов, и преобразовывать их к виду, в котором в дальнейшем будем использовать их для получения многофакторных моделей описания образования макроструктуры радиоэле-

мента и построения функционала качества. Третий принцип многофакторного моделирования на базе однофакторных моделей позволяет сократить количество необходимых исследований, повысить точность математических моделей, а также даёт возможность использовать при построении многофакторных математических моделей уже накопленный однофакторный экспериментально-статистический материал [15].

На основе рассмотренных принципов предлагается комплексный метод математического моделирования, суть которого состоит в структурной идентификации моделей во внутренней области факторного пространства состояний математическими моделями, на основе которых синтезируются многофакторные модели, экстраполируемые в область предельных значений дробно-рациональными функциями из «пучка» функций. Совокупность разработанных компонент обеспечивает отыскание функциональных зависимостей во внутренней области факторного пространства

в преобразованных координатах и параметрическую идентификацию моделей на краях факторного пространства.

Заключение

Проводя подробный анализ схемы создания математических моделей радиоэлектронных средств следует обратить особое внимание на возможные сложности преобразования моделей с одних уровней иерархии на другие, учесть погрешности преобразований, оценить совокупный эффект подобного преобразования, подобрать модели по степени их адекватности, но с учетом итерационного процесса, а именно, начиная с наиболее простых и доступных моделей. Создание на предложенной основе совокупной системы имитационного моделирования ответственных РЭС позволит в большой степени сократить производственные издержки на проектирование, отработку, испытания и сборку-монтаж подобных систем.

Библиографический список

1. Юрков Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами: монография. Пенза: ИИЦ ПГУ, 2003. 198 с.
2. ГОСТ 27103-83. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Основные положения. М.: Изд. стандартов, 1983. 5 с.
3. Соловьев Д.Б. Повышение точности моделирования механических процессов в радиоэлектронных средствах на основе разработки автоматизированной подсистемы САПР: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2013. 17 с.
4. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. Киев: Наук. думка, 1990. 184 с.
5. Савельева О.С. Критерии отказоустойчивости технических систем // Труды Одесского политехнического университета. 2008. Вып. 1(29). С. 12-15.
6. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Кочегаров И.И. Методы и средства проектирования высоконадежных электронных средств. Пенза: Изд. ПГУ, 2014. 274 с.
7. Таньков Г.В., Трусов В.А., Григорьев А.В., Данилова Е.А., Юрков Н.К. Исследование динамики печатных плат радиоэлектронных средств: монография. Пенза: Изд. ПГУ, 2016. 118 с.
8. Жаднов В.В., Юрков Н.К. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры: учебное пособие. Пенза: Изд. ПГУ, 2012. 112 с.
9. Кочегаров И.И., Алмаметов В.Б., Юрков Н.К. Межсистемное взаимодействие систем САД и САЕ при моделировании // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. С. 161-166.

10. Тюрина Л.А., Юрков Н.К. Системная организация жизненного цикла промышленных изделий // Тяжелое машиностроение. 2006. № 6. С. 8-12.
11. Юрков Н.К. Функционально-целевой подход к синтезу систем управления интегрированными производственными комплексами // Измерительная техника. 1999. № 7. С. 19-22.
12. Yurkov N.K. Synthesis of a Conceptual Model of a Subject Domain. Characteristic Features of Modeling Complex Systems Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 46, No. 2, February 2004. P. 128-133.
13. Yurkov N.K. Characteristic Features of the Control of Complex Systems Utilizing Conceptual Models Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 47, No. 4, April 2004. P. 339-342.
14. Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В., Юрков Н.К. Основы теории надежности электронных средств: учебное пособие. Пенза: Изд. ПГУ, 2012. 180 с.
15. Алмаметов В.Б., Затылкин А.В., Григорьев А.В., Кочегаров И.И., Юрков Н.К. Методы обнаружения и локализации латентных технологических дефектов бортовой радиоэлектронной аппаратуры: монография. Пенза: Изд. ПГУ, 2013. 184 с.

References

1. Yurkov N.K. Modeli i algoritmy upravleniya integrirovannymi proizvodstvennymi kompleksami: monografiya. Penza: IIC PGU, 2003. 198 p.
2. GOST 27103-83. Nadezhnost' v tekhnike. Kriterii otkazov i predel'nyh sostoyanij. Osnovnye polozheniya. M.: Izd. standartov, 1983. p s.
3. Solov'ev D.B. Povyshenie tochnosti modelirovaniya mekhanicheskikh processov v radioelektronnykh sredstvakh na osnove razrabotki avtomatizirovannoj podsistemy SAPR: avtoref. dis. kand.tekhn. nauk. M., 2013. 17 p.
4. Dodonov A.G., Kuznecova M.G., Gorbachik E.S. Vvedenie v teoriyu zhivuchesti vychislitel'nykh sistem. Kiev: Nauk. dumka, 1990. 184 p.
5. Savel'eva O.S. Kriterii otkazoustojchivosti tekhnicheskikh sistem // Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta. 2008. Vyp. 1(29). P. 12-15.
6. Yurkov N.K., Zatytkin A.V., Kochegarov I.I. Metody i sredstva proektirovaniya vysokonadezhnykh elektronnykh sredstv. Penza: Izd. PGU, 2014. 274 p.
7. Tan'kov G.V., Trusov V.A., Grigor'ev A.V., Danilova E.A., Yurkov N.K. Issledovanie dinamiki pechatnykh plat radioelektronnykh sredstv: monografiya. Penza: Izd. PGU, 2016. 118 p.
8. Zhadnov V.V., Yurkov N.K. Osobennosti konstruirovaniya bortovoj kosmicheskoy apparatury: uchebnoe posobie. Penza: Izd. PGU, 2012. 112 p.
9. Kochegarov I.I., Almametov V.B., Yurkov N.K. Mezhsistemnoe vzaimodejstvie sistem CAD i CAE pri modelirovanii // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2015. P. 161-166.
10. Tyurina L.A., Yurkov N.K. Sistemnaya organizatsiya zhiznennogo tsikla promyshlennykh izdelij // Tyazheloe mashinostroenie. 2006. № 6. P. 8-12.
11. Yurkov N.K. Funktsional'no-celevoj podhod k sintezu sistem upravleniya integrirovannymi proizvodstvennymi kompleksami // Izmeritel'naya tekhnika. 1999. № 7. P. 19-22.
12. Yurkov N.K. Synthesis of a Conceptual Model of a Subject Domain. Characteristic Features of Modeling Complex Systems Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 46, No. 2, February 2004. P. 128-133.
13. Yurkov N.K. Characteristic Features of the Control of Complex Systems Utilizing Conceptual Models Measurement Techniques. N.Y., Springer, Vol. 47, No. 4, April 2004. P. 339-342.
14. Zatytkin A.V., Poleskij S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V., Yurkov N.K. Osnovy teorii nadezhnosti elektronnykh sredstv: uchebnoe posobie. Penza: Izd. PGU, 2012. 180 p.
15. Almametov V.B., Zatytkin A.V., Grigor'ev A.V., Kochegarov I.I., Yurkov N.K. Metody obnaruzheniya i lokalizatsii latentnykh tekhnologicheskikh defektov bortovoj radioelektronnoy apparatury: monografiya. Penza: Izd. PGU, 2013. 184 p.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 21.11.2021

Одобрена после рецензирования / Revised 13.12.2021

Принята к публикации / Accepted 17.01.2022

© Н.К. Юрков, 2022

Сведения об авторе

List of Author

Юрков Николай Кондратьевич – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета.

Nikolay Yurkov – Doctor of Technical Sciences, Professor, the Honoured Worker of Science of the Russian Federation, Head of Sub-Department of Radio Equipment Design and Production, Penza State University.

Ссылка для цитирования: *Юрков Н.К. Разработка оптимальной структуры радиоэлектронных средств на основе взаимодействия цифровых моделей различных этапов проектирования // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 23 - 32. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-23-32.*

For citation: *Yurkov N.K. Development of the optimal structure of radio-electronic means based on the interaction of digital models of various design stages // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 23 - 32. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-23-32.*

СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

А.С. Гусев, Н.И. Каргин, С.М. Рындя, А.А. Тимофеев, Н.В. Сиглова, С.В. Антоненко
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва
115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31
smryndya@mephi.ru, nikargin@mephi.ru

Аннотация. В работе методом импульсного лазерного осаждения из керамической мишени AlN были получены тонкие пленки нитрида алюминия на подложках Si (100). Исследовано влияние температуры подложки и атмосферы осаждения на состав, структуру и морфологию поверхности экспериментальных образцов пленок AlN.

Ключевые слова: нитрид алюминия, тонкие пленки, импульсное лазерное осаждение.

Abstract. In this work, thin films of aluminum nitride on Si (100) substrates were obtained by pulsed laser deposition from an AlN ceramic target. The effect of the temperature of the substrate and the deposition atmosphere on the composition, structure, and surface morphology of experimental samples of AlN films has been studied.

Key words: aluminum nitride, thin films, pulsed laser deposition.

Введение

Нитрид алюминия благодаря сочетанию таких уникальных свойств, как большая ширина запрещенной зоны 6,2 эВ [1, 2], высокая теплопроводность (320 Вт/м·К при 300 К), низкий коэффициент теплового расширения $4,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [3], высокое значение напряженности поля пробоя (17 кВ/мм), высокая скорость звуковой волны до 6000 м/с [4, 5], способность образовывать непрерывный ряд твердых растворов в системе AlN-GaN, является перспективным материалом для применения в современных микроэлектронных приборах.

Экспериментальные результаты

Экспериментальные образцы слоев AlN на подложках Si (100) были получены при помощи установки импульсного лазерного осаждения MBE/PLD-2000 (PVD Products, США). Для получения образцов

распылялась керамическая мишень AlN (99,5 %) стехиометрического состава с помощью эксимерного лазера KrF (длина волны лазерного излучения 248 нм, длительность импульса 20 нс, частота следования импульсов 15 Гц, угол падения луча лазера на мишень 60°, плотность мощности 10^9 Вт/см^2 , размер пятна фокусировки $\sim 1 \text{ мм}^2$).

В работе были синтезированы два ряда экспериментальных образцов при различных температурах подложки. Первый ряд образцов был получен при температурах подложки 600, 700 и 800°C в вакууме при остаточном давлении в камере $3 \cdot 10^{-6}$ Торр. Образцы второго ряда были синтезированы в азотной атмосфере при аналогичных температурах подложки, перед процессом осаждения осуществлялся напуск N₂, и в течение всего процесса оса-

ждения в камере поддерживалось давление $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Торр.

На рисунке 1 показаны полученные растровой электронной микроскопией

(РЭМ) изображения образцов 4-6 осажденных в атмосфере азота, при $T_{\text{подл}} = 600^\circ\text{C}$ (рисунок 1а), 700°C (рисунок 1б) и 800°C (рисунок 1в).

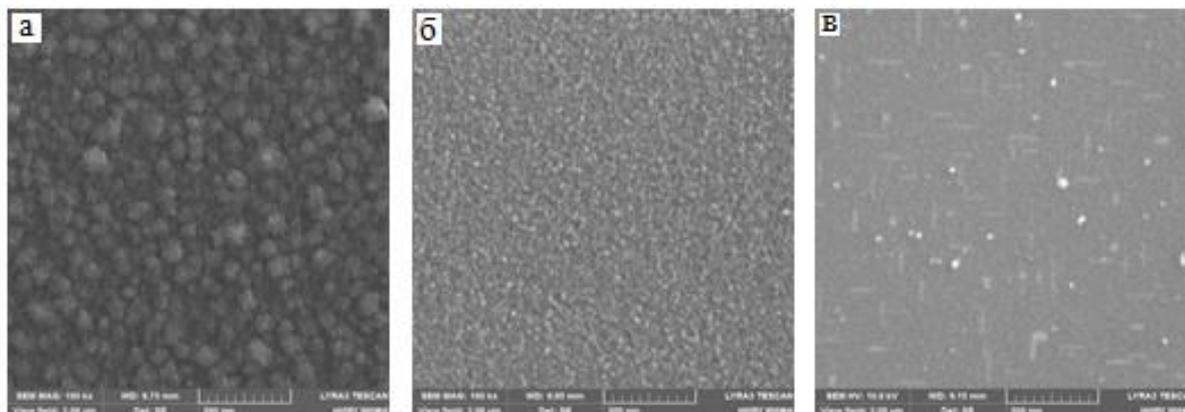


Рисунок 1 – РЭМ изображения экспериментальных образцов, осажденных в атмосфере азота ($3 \cdot 10^{-3}$ Торр) при следующих температурах подложки: а – 600°C , б – 700°C , в – 800°C

Как видно из рисунка 1а поверхность образца, полученного при 600°C , имеет зернистую структуру со средним размером зерен 50-80 нм и обладает наибольшей шероховатостью (среднеквадратичное значение шероховатости RMS составляет 11,0 нм), такая морфология поверхности может быть связана с низкой скоростью поверхностной диффузии атомов и застыванием на поверхности микро/нано капель, поступающих при распылении материала мишени. Увеличение температуры осаждения приводит к уменьшению шероховатости поверхности (рисунки 1б и 1в). Для образ-

цов полученных при $T_{\text{подл}} 700^\circ\text{C}$ и 800°C параметр RMS составляет 6,7 нм и 3,9 нм соответственно. При температурах подложки $700-800^\circ\text{C}$ на поверхности идет образование кристаллической фазы AlN . Формирование кристаллической фазы было подтверждено данными просвечивающей электронной микроскопии.

Далее были исследованы образцы, полученные в условиях вакуума. На рисунке 2 представлены РЭМ изображения планарной поверхности структур, полученных при температурах подложки 600°C (а), 700°C (б) и 800°C (в).

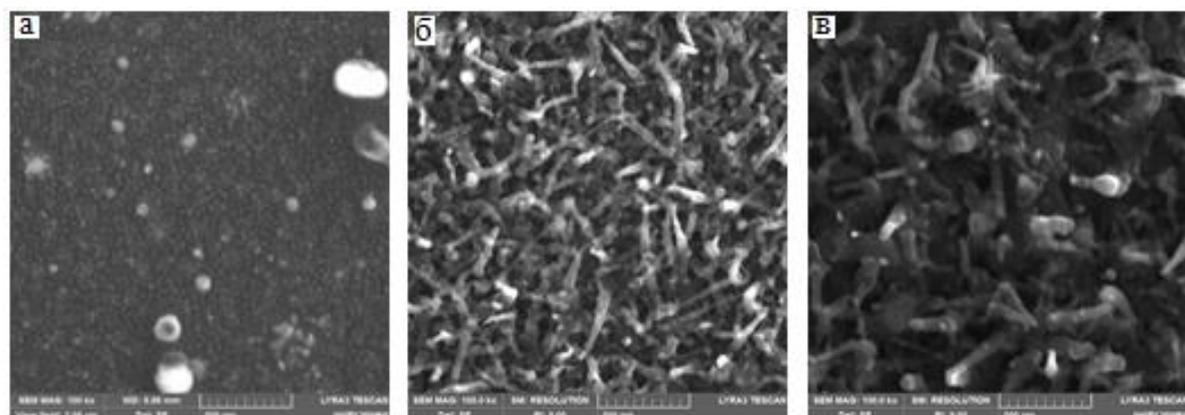


Рисунок 2 – РЭМ изображения экспериментальных образцов, осажденных в вакууме ($3 \cdot 10^{-6}$ Торр) при следующих температурах подложки: а – 600°C , б – 700°C , в – 800°C .

Обсуждение и выводы

Поверхность образца, выращенного при $T_{\text{подл}} = 600^\circ\text{C}$ в вакууме (рисунок 2а), является относительно гладкой и покрыта микрокаплями, диаметр которых колеблется в диапазоне от 20 до 200 нм, а поверхностная концентрация достигает величин $\sim 10^3$ мкм⁻². Присутствие таких микрокапель типично для образцов, сформированных методом импульсного лазерного осаждения. В качестве возможных причин их появления обычно рассматривают всплески расплавленного слоя мишени при его закипании и разбрызгивание жидкой фазы под действием ударных волн перепада давления [6]. Среднеквадратичное значение шероховатости *RMS* для этого образца составляет 24,7 нм, значительно больше, чем для образца, полученного в атмосфере азота при такой же температуре.

В свою очередь морфология поверхности образца, выращенного при $T_{\text{подл}} = 700^\circ\text{C}$, кардинальным образом изменяется (рисунок 2б). При этой температуре наблюдается формирование массива неориентированных относительно подложки нанопроволок с диаметром 35–50 нм и

длиной до 0,5 мкм. Также наблюдается рост нескольких нанопроволок из одного основания. Нанопроволоки равномерно покрывают всю поверхность образца, а на их концах расположены закристаллизовавшиеся капли в виде полусфер. Увеличение $T_{\text{подл}}$ до 800°C приводит к росту диаметра нанопроволок и снижению их количества, приходящегося на единицу поверхности (рисунок 2в). Среднеквадратичные значения шероховатости *RMS* для образцов полученных при $T_{\text{подл}} = 700^\circ\text{C}$ и $T_{\text{подл}} = 800^\circ\text{C}$ составляют 77,2 нм и 81,1 нм соответственно.

На рисунках 3а и 3б показаны РЭМ изображения поперечного сечения образцов, нанесенных при температурах подложки 600°C и 700°C . Из этих рисунков видно, что толщина пленки для образца без нанопроволок *AlN* составляет около 100 нм. Высота нанопроволок, образованных на поверхности образца при 700°C , достигает значения 400 нм (рисунок 3б), а закристаллизовавшиеся капли на концах нанопроволок иногда имеют слабо выраженную огранку (рисунок 3в).

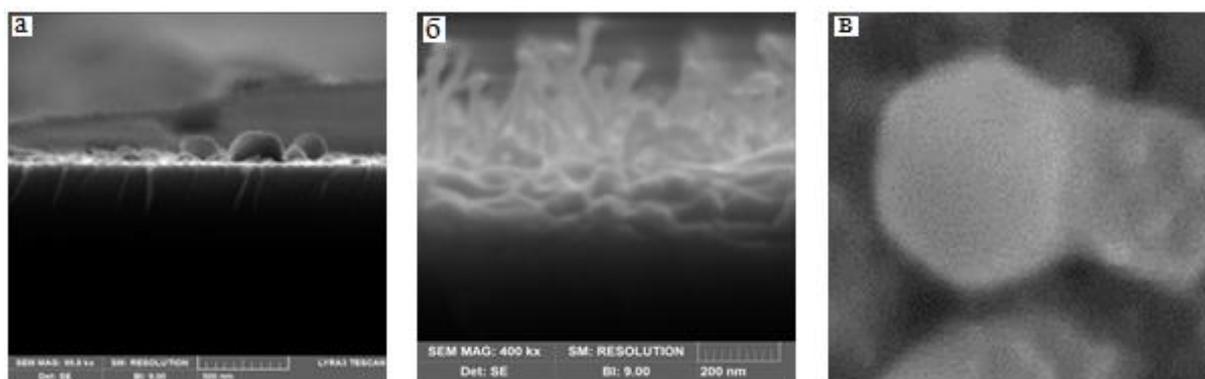


Рисунок 3 – РЭМ-изображения сечения образцов, нанесенных при температуре подложки: а – 600°C ; б – 700°C ; в – РЭМ-изображение отдельной нанопроволки *AlN*

Рост нанопроволок *AlN*, вероятно, идёт по механизму «пар – жидкость – кристалл» (ПЖК). При формировании слоя *AlN* в вакууме на ростовой поверхности накапливается избыточный *Al*, который собирается в

виде нанокпель, являющихся катализаторами роста нанопроволок [7]. На механизм ПЖК указывает присутствие закристаллизовавшихся капель на концах вискероидов и отсутствие роста нанопроволок при $T_{\text{подл}} =$

600°C, что ниже температуры плавления Al.

Таким образом, методом импульсного лазерного осаждения из керамической мишени AlN были получены тонкие пленки нитрида алюминия на подложках Si (100). Установлено, что шероховатость поверхности образцов, полученных в атмосфере азота, уменьшается с ростом температуры с 11 нм для $T_{\text{подл}} = 600^\circ\text{C}$ до 3,9 нм для $T_{\text{подл}} = 800^\circ\text{C}$ и существенно меньше чем для образцов, полученных в вакууме. Для образцов, синтезированных в вакууме, наблюдается противоположная зависимость увеличения шероховатости с ростом

температуры с 24,7 нм при $T_{\text{подл}} = 600^\circ\text{C}$ до 81,1 нм при $T_{\text{подл}} = 800^\circ\text{C}$. Показано, что при осаждении в вакууме при $T_{\text{подл}} = 700^\circ\text{C}$ и 800°C формируются массивы неориентированных нанопроволок AlN. Наиболее вероятным механизмом роста нанопроволок AlN является механизм «пар – жидкость – кристалл».

Работа выполнена с применением оборудования центра коллективного пользования «Гетероструктурная СВЧ-электроника и физика широкозонных полупроводников» НИЯУ «МИФИ».

Библиографический список

1. L. E. McNeil, M. Grimsditch, R.H. French. Vibrational Spectroscopy of Aluminum Nitride // J. Am. Ceram. Soc. 1993. V. 76. N. 5. P. 1132–1136.
- 2 Chipta P. Laksana, Meei-Ru Chen, Yen Liang et al. Deep-UV Sensors Based on SAW Oscillators Using Low-Temperature-Grown AlN Films on Sapphires // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 2011. V. 58. N. 8. P. 1688–1693.
3. Mingli Qin, Xueli Du, Zixi Li, et al. Synthesis of aluminum nitride powder by carbothermal reduction of a combustion synthesis precursor // Materials Research Bulletin 2008. V. 43. P. 2954–2960.
4. Emanuela Schilirò, Filippo Giannazzo, Corrado Bongiorno, et al. Structural and electrical properties of AlN thin films on GaN substrates grown by plasma enhanced-Atomic Layer Deposition // Materials Science in Semiconductor Processing 2019. V.97. P. 35-39.
5. V. Moraes, H. Riedl, R. Rachbauer, et al. Thermal conductivity and mechanical properties of AlN-based thin films // J. Appl. Phys. 2016. V.119. P. 225304.
6. Vendan M., Molian P., Bastawros A. Ultra-short pulsed laser deposition and patterning of SiC thin films for MEMS fabrication // Materials Science in Semiconductor Processing. 2005. V. 8. I. 6. P. 630–645
7. Дубровский В.Г., Цырлин Г.Э., Устинов В.М. Полупроводниковые нитевидные нанокристаллы: синтез, свойства, применения // Физика и техника полупроводников. 2009. Том 43. Вып. 12. С.1585-1628.

References

1. L. E. McNeil, M. Grimsditch, R.H. French. Vibrational Spectroscopy of Aluminum Nitride // J. Am. Ceram. Soc. 1993. V. 76. N. 5. P. 1132–1136.
- 2 Chipta P. Laksana, Meei-Ru Chen, Yen Liang et al. Deep-UV Sensors Based on SAW Oscillators Using Low-Temperature-Grown AlN Films on Sapphires // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 2011. V. 58. N. 8. P. 1688–1693.
3. Mingli Qin, Xueli Du, Zixi Li, et al. Synthesis of aluminum nitride powder by carbothermal reduction of a combustion synthesis precursor // Materials Research Bulletin 2008. V. 43. P. 2954–2960.
4. Emanuela Schilirò, Filippo Giannazzo, Corrado Bongiorno, et al. Structural and electrical properties of AlN thin films on GaN substrates grown by plasma enhanced-Atomic Layer Deposition // Materials Science in Semiconductor Processing 2019. V.97. P. 35-39.
5. V. Moraes, H. Riedl, R. Rachbauer, et al. Thermal conductivity and mechanical properties of AlN-based thin films // J. Appl. Phys. 2016. V.119. P. 225304.

6. Vendan M., Molian P., Bastawros A. Ultra-short pulsed laser deposition and patterning of SiC thin films for MEMS fabrication // *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2005. V. 8. I. 6. P. 630–645

7. Dubrovskij V.G., Cyrilin G.E., Ustinov V.M. Poluprovodnikovye nitevidnye nanokri-stally: sintez, svojstva, primeneniya // *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. 2009. Tom 43. Vyp. 12. S.1585-1628.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare no conflicts of interests.*

Дата поступления в редакцию / Received 28.12.2021

Одобрена после рецензирования / Revised 23.01.2022

Принята к публикации / Accepted 27.01.2022

© А.С. Гусев, Н.И. Каргин, С.М. Рындя, А.А. Тимофеев, Н.В. Сиглова, С.В. Антоненко, 2022

**Сведения об авторах
List of Authors**

Гусев Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, заместитель директора Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Alexander Gusev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Deputy Director of the Institute of Nanotechnologies in Electronics, Spintronics and Photonics, National Research Nuclear University «MEPhI».

Каргин Николай Иванович – доктор технических наук, профессор, первый заместитель директора Института функциональной ядерной электроники Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Nikolai Kargin – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy Director of the Institute of Functional Nuclear Electronics, National Research Nuclear University «MEPhI»

Рындя Сергей Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Sergey Ryndya – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of the Institute of Nanotechnologies in Electronics, Spintronics and Photonics, National Research Nuclear University «MEPhI».

Тимофеев Алексей Афанасьевич – ведущий инженер кафедры физики конденсированных сред Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Aleksey Timofeev – Leading Engineer of the Department of Condensed Matter Physics of the Institute of Nanotechnologies in Electronics, Spintronics and Photonics, National Research Nuclear University «MEPhI».

Сиглова Наталья Владимировна – кандидат химических наук, доцент, ведущий инженер Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Natalia Siglovaya – PhD (Chemistry), Associate Professor, Leading Engineer of the Institute of Nanotechnologies in Electronics, Spintronics and Photonics, National Research Nuclear University «MEPhI»

Антоненко Сергей Васильевич – заведующий лабораторией кафедры физики конденсированных сред Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Sergey Antonenko – Head of the Laboratory of the Department of Condensed Matter Physics of the Institute of Nanotechnologies in Electronics, Spintronics and Photonics, National Research Nuclear University «MEPhI».

Ссылка для цитирования: *Гусев А.С., Каргин Н.И., Рындя С.М., Тимофеев А.А., Сигловая Н.В., Антоненко С.В.* Исследование тонких пленок AlN, формируемых методом импульсного лазерного осаждения // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 33 - 38. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-33-38.

For citation: *Gusev A.S., Kargin N.I., Ryndya S.M., Timofeev A.A., Siglovaya N.V., Antonenko S.V.* Investigation of thin AlN films formed by pulsed laser deposition // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 33 - 38. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-33-38.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИФФУЗИИ ЗОЛОТА В РАБОЧИЕ ОБЛАСТИ МОЩНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

А.Р. Шахмаева, Э. Казалиева

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
fpk12@mail.ru, kasanova.em@mail.ru

Аннотация. Исследованы процессы диффузии золота в кремний, температурные режимы, время диффузии и технологическая среда. Разработана упрощенная технология для создания примеси золота в рабочих областях структуры кристаллов мощных транзисторов КТ-872. Показано, что полученные режимы диффузии золота в структуру кремниевого транзистора позволяют улучшить выходные характеристики прибора.

Ключевые слова: кремниевый транзистор, режим насыщения, напыление, диффузия, контакт, золото.

Abstract. The processes of gold diffusion into silicon, temperature regimes, diffusion time and technological environment have been studied. A simplified technology has been developed for creating a gold impurity in the working areas of the crystal structure of high-power transistors КТ-872. It is shown that the obtained regimes of gold diffusion into the structure of a silicon transistor make it possible to improve the output characteristics of the device.

Key words: silicon transistor, saturation mode, deposition, diffusion, contact, gold.

Введение

В настоящее время на внутреннем и внешнем рынке имеется большая неудовлетворенная потребность в мощных силовых транзисторах, применяемых в источниках вторичного электропитания, ключевых усилителях мощности, электронных системах зажигания, электроприводах для управления электродвигателями и других радиоэлектронных устройствах.

Высокие темпы развития микроэлектроники, быстрая сменяемость конструктивно-технологических вариантов изделий привели к необходимости изучения новых технологических процессов, доводке их до заданной степени совершенства. Большое число технологических процессов изготовления микроэлектронных изделий, используемое на промышленных предприятиях, и

множество операций в этих процессах создают впечатление хаотичности, случайности, в лучшем случае, рецептурности применяемых технологий. В действительности это не так. В основе каждого технологического процесса лежат глубокие физико-технические закономерности, трудности выявления которых связаны с многофакторностью любого технологического процесса и недостаточным уровнем наших знаний о степени влияния этих факторов на параметры качества изделий [1, 2].

Современные переключающие транзисторы имеют, как правило, малую толщину базового слоя и малые активные площади структур. Это обеспечивает малые емкости $p-n$ переходов, высокую предельную частоту усиления по току и достаточно резкие фронты импульса в режиме

переключения. При работе полупроводниковых транзисторов в переключающихся схемах в режиме насыщения очень важно иметь минимальное время рассасывания накопленного заряда, связанного со временем жизни носителей тока. Основная часть накопленного заряда для транзисторов, работающих в режиме насыщения, обычно располагается в области коллектора, поэтому важным параметром для переключающего транзистора является эффективное время жизни носителей в коллекторе.

Целью исследования является уменьшение времени жизни носителей тока. Это можно сделать путем введения в толщу кристалла транзисторной структуры примесей, имеющих большое сечение захвата носителей. Одной из таких примесей является золото.

Исследование растворимости золота в кремнии

Золото в кремнии может находиться как в узлах, так и в междоузлиях решетки и иметь растворимость до 10^{17} см⁻³, зависящую от уровня легирования кремния.

Растворимость золота в слабо легированном кремнии изучалось и ранее, где было показано, что в диапазоне температур 700-1350°C методом диффузии можно ввести до 10^{13} – 10^{17} см⁻³ золота.

При исследовании растворимости золота в сильно легированном кремнии *n*-типа было замечено некоторое увеличение растворимости, в то время как для сильно легированного *p*-кремния этого не наблюдалось. В то же время кремний *n*-типа обычно легируется фосфором, что не исключает образования соединений типа «золото-фосфор», присутствие которых изменяет обычные условия растворимости. Наибольшее влияние на электрические параметры оказывает золото, содержащееся в узлах решетки, так как сечение захвата носителей для этого типа приме-

сей значительно больше, чем для примесных атомов внедрения.

Однако растворенное в кремнии золото может переходить из одного состояния в другое, высаживаться на дефектах решетки, а также геттерироваться, как и другие металлические примеси, жидкими стеклами, образующимися на поверхности планарной структуры во время диффузии.

При концентрации золота ниже концентрации основной примеси в кремнии время жизни носителей тока обратно пропорционально концентрации золота. При превышении концентрации *p*- или *n*-примеси золото вызывает компенсацию и кремний приобретает проводимость, близкую собственной. Время жизни при этом не зависит от концентрации золота.

Золото в кремнии создает два глубоко расположенных локальных уровня – донорный и акцепторный. В связи с этим для кремния *n*-типа при $N_d > N_{Au}$ каждый акцепторный уровень, захватив электрон, будет характеризоваться большим сечением захвата для дырок. В кремнии *p*-типа при $N_d > N_{Au}$ положительно заряженный донор будет иметь большое сечение захвата для электронов.

Сечение захвата и время жизни связаны соотношением:

$$\tau = (SvN_1)^{-1}, \quad (1)$$

где *S* – сечение захвата, *v* – тепловая скорость захваченного носителя, N_1 – концентрация рекомбинационных центров.

В соответствии с этим для кремния *n*-типа время жизни будет равно

$$\tau_p = (s_p v_p N_{Au})^{-1}, \quad (2)$$

а для кремния *p*-типа:

$$\tau_n = (s_n v_n N_{Au})^{-1}, \quad (3)$$

В работе [3] были определены сечения захвата, причем установлено время восстановления *p*⁺-*n* кремниевого диода $\tau_{восст}$, равное $2,53 \cdot 10^7 / N_{Au}$ с. Это время восстановления зависит от температуры диффузии и от концентрации золота.

Золото в кремнии может находиться как в узлах, так и в междоузлиях решетки. Диффузия золота в кремний характеризуется двумя составляющими: медленной диффузией замещения и быстрой диффузией внедрения.

Концентрация атомов замещения значительно выше концентрации атомов внедрения. Уровни захвата дают в основном атомы золота, расположенные в узлах решетки. Поэтому нас интересует лишь диффузия замещения, для которой время, необходимое для проникновения золота в кремний на глубину x_i , определяется формулой:

$$t = 4x^2 \ln[4/\pi(1-0)]/\pi^2 D_1, \quad (4)$$

здесь D_1 – отношение концентрации золота на границе проникновения к поверхностной концентрации.

В практике изготовления мощных планарных транзисторов диффузия золота обычно осуществляется из тонкого (порядка 0,1 мкм) слоя металлического золота высокой чистоты, нанесенного на коллекторную сторону пластины методом напыления в вакууме. Для диффузии золота используют обычные диффузионные печи, подобные тем, которые применяются для диффузии бора и фосфора. Диффузию ведут в инертной атмосфере или в атмосфере, соответствующей условиям диффузии фосфора, при температуре 1000 – 1100°C в течение нескольких десятков минут.

Диффузию золота чаще всего проводят после диффузии в эмиттер. Поверхность пластин перед напылением очищают от следов окисла для достижения необходимой равномерности легирования золотом. При диффузии золота выбирают такие режимы, которые позволяют с гарантией пролегировать всю толщу пластины с транзисторными структурами, и, чтобы при заданной температуре диффузии, растворимость атомов золота в кремний была меньше концентрации примесей в коллек-

торном слое. Например, для $n-p-n$ транзистора должно выполняться неравенство: $N_{Au} < N_{dk}$.

При $N_{Au} > N_{dk}$ может произойти перекompенсация золотом и высокоомный коллекторный слой n -типа превратиться в p -слой.

По окончании диффузии золота целесообразно провести по возможности резкое охлаждение пластин во избежание перераспределения золота в междоузлия и в дефекты решетки, что может привести к значительному увеличению времени жизни по сравнению с ожидаемым значением в условиях данных режимов диффузии.

Кроме того, золото при медленном охлаждении может выпадать в виде электрически неактивных примесей внутри $p-n$ переходов вплоть до появления так называемого «мягкого» пробоя [4].

Экспериментальные исследования

В НИИ «Микроэлектроника и нанотехнологии» Дагестанского государственного технического университета отработана упрощенная технология для создания примеси золота в рабочих областях транзистора, обеспечивающая улучшение выходных характеристик. Для экспериментов использовали структуры кристаллов мощных транзисторов КТ-872 после формирования эмиттера. Процесс проводился с целью снижения подвижности носителей заряда и, соответственно, увеличения надежности работы мощных транзисторов в режиме насыщения.

Осаждение золота проводилось на установке магнетронного напыления LEYBOLD AG Z-600. При нанесении тонких пленок очень важно соблюдать электронно-вакуумную гигиену. Загрязнения в виде примесных химически активных газов, падающих на поверхность обрабатываемых подложек, могут существенно изменить структуру и электрофизические свойства наносимого металла. Данная установ-

ка позволяет обеспечивать требуемую чистоту процесса.

Основными контролируруемыми параметрами при проведении экспериментов на определение оптимальных технологических режимов на получение заданной толщины (400 – 500 Å) являются: мощность катода, скорость движения паллеты с пластиной в камере, давление вакуума в камере.

Толщина напыляемой пленки зависит от задаваемых значений мощности и скорости движения паллеты с пластиной.

Время предварительной очистки пластин в блоке плазмотравления устанавливаем на 1 мин. Расход аргона составляет 185 – 220 см³/ч, давление вакуума в камере – 5x10⁻³ мбар.

На установке был установлен катод из золота.

Из экспериментальных данных (рисунков) выбраны следующие режимы проведения процесса диффузии золота для получения заданной толщины пленки золота от 400 до 500 Å: мощность катода – 200 Вт; скорость движения пластин (на паллете) – от 0,4 до 0,6 мм/мин; время процесса – 4 часа.

Нагрузка катода на полную мощность нежелательна из-за причины износа и долговечности оборудования, скорость напыления достаточная для получения равномерной пленки в течение 4 часов при данной скорости.

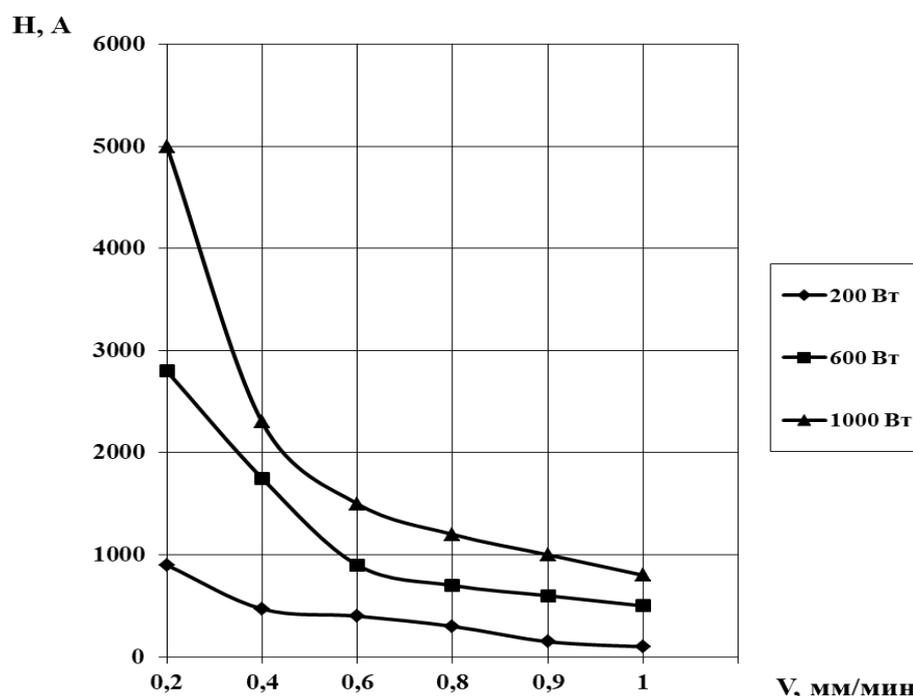


Рисунок – Зависимость толщины пленки золота от скорости движения паллета при различной мощности катода

Разработан технологический процесс, включающий следующие операции:

1. Окисление.
2. Нанесение фоторезиста.
3. Совмещение и экспонирование.
4. Проявление фоторезиста.
5. Отжиг (150°C, атмосфера азота – 30 мин).
6. Травление (вскрытие контактных окон).
7. Напыление золота (толщиной 400 – 500 Å).

8. Отжиг (при 300°C, в атмосфере азота – 30 мин).

9. Снятие фоторезиста.

10. Травление в царской водке.

11. Разгонка золота (1100 °C).

Напыление золота проводилось на установке с магнетронным методом напыления. Процесс проводился без подогрева пластин, так как нанесенный фоторезист может испаряться при высоких температурах в камере, что нежелательно.

Процесс отжига при 300°C приводит к изменению свойств фоторезиста, после чего он легко снимается. Во время отжига золото диффундирует в кремний. Для снятия фоторезиста используется диметилформамид. Остатки золота травят в царской водке, далее проводят разгонку золота, а затем – операции основного маршрута из-

готовления структуры мощного транзистора КТ-872.

Заключение

Процесс диффузии золота был включен в основной маршрут технологического процесса изготовления мощных транзисторов типа КТ-872 и опробован для 5000 кристаллов. Результаты апробации показали улучшение работы транзистора в режиме насыщения. Процесс был внедрен на предприятии ОАО «Эльдаг» по производству полупроводниковых приборов.

Работа выполнена с применением оборудования центра коллективного пользования научным оборудованием «Радиоэлектронные приборы, микроэлектроника и нанотехнологии» ДГТУ.

Библиографический список

1. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р. Базовые процессы формирования активных областей структуры мощных кремниевых транзисторов. – СПб.: Политехника, 2009. – 156 с.

2. Мазель Е.З., Пресс Ф.П. Планарная технология кремниевых приборов. – М.: Энергия, 1974. – 367 с.

3. Бринкевич Д. И., Вабищевич С. А., Вабищевич Н. В., В. С. Просолович В. С. // Разупрочнение структуры кремния при диффузионном легировании золотом // Неорганические материалы. 2009. Т. 45. № 4. С. 389-392.

4. Gösele U., Frank W., Seeger A., Appl. Phys. Mechanism and kinetics of the diffusion of Au in Si, 23 (1980). PP. 361 – 368.

References

1. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R. Basic processes of formation of active regions in the structure of high-power silicon transistors. - St. Petersburg: Polytechnic, 2009. - 156 p.

2. Mazel E.Z., Press F.P. Planar technology of silicon devices. – M.: Energy, 1974. - 367 p..

3. Brinkevich D. I., Vabishchevich S. A., Vabishchevich N. V., V. S. Prosolovich V. S. // Strengthening of the silicon structure during diffusion alloying with gold // Inorganic Materials. 2009. V. 45. No. 4. P. 389-392.

4. Gosele U., Frank W., Seeger A., Appl. Phys. Mechanism and kinetics of the diffusion of Au in Si, 23 (1980) PP. 361–368.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 09.03.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 25.03.2022

Принята к публикации / Accepted 27.03.2022

© А.Р. Шахмаева, Э. Казалиева, 2022

Сведения об авторах
List of Authors

Шахмаева Айшат Расуловна – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета.

Aishat Shakhmaeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State Technical University.

Казалиева Эльмира – аспирант кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета.

Elmira Kazalieva – Postgraduate student, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Шахмаева А.Р., Казалиева Э.* Разработка технологии диффузии золота в рабочие области мощных кремниевых транзисторов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 39 - 44. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-39-44.

For citation: *Shakhmaeva A.R., Kazalieva E.* Development of technology for gold diffusion into the working areas of high-power silicon transistors // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 39 - 44. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-39-44.

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДСИСТЕМ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.М. Денгаев

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
dacademia@mail.ru

Аннотация. Определены основные требования пользователя к медицинской информационной системе. Рассмотрены базовые функциональные компоненты медицинских информационных систем. Приведено описание процесса построения функциональной модели медицинской информационной системы. Построены контекстные диаграммы основных подсистем медицинской информационной системы диагностики и лечения пациента.

Ключевые слова: медицинская информационная система, функциональная модель, автоматизированная диагностика, концептуальная модель.

Abstract. The basic user requirements for the medical information system are determined. The basic functional components of medical information systems are considered. The description of the process of constructing a functional model of a medical information system is given. Context diagrams of the main subsystems of the medical information system for diagnosing and treating a patient are constructed.

Key words: medical information system, functional model, automated diagnostics, conceptual model.

Введение

Медицинская информационная система направлена на автоматизацию деятельности медицинского учреждения. Разнообразные функции такой системы повышают эффективность врачей и позволяют импортировать и обрабатывать результаты анализов, полученных от диагностических приборов. Хотя история развития медицинских информационных систем насчитывает более 50 лет во многих медицинских учреждениях сохраняются большие временные затраты на обработку медицинской документации и отчетности.

Актуальность темы исследования состоит в описании процесса построения функциональной модели медицинской информационной системы. Основными задачами исследования являются анализ

предметной области, формализация процессов, протекающих в медицинском учреждении и последующая разработка функциональных моделей на основе методологии *IDEF0* и *DFD* диаграмм [1, 2].

Аналитическая часть

Основные функциональные компоненты медицинских информационных систем:

1. Модули и средства ведения управленческого учёта, инструменты анализа качества и эффективности предоставления медицинских услуг.

2. Модули, связанные с регистрацией пациентов, ведением реестра электронных медицинских карт, учётом больничных листов, ведением протоколов лечения, информационное сопровождение лечения пациентов в различных типах учреждений (амбулатория, поликлиника, стационар),

медицинская статистика и аналитика, история болезни.

3. Модули для проведения экономического анализа деятельности медицинской организации.

4. Общетехнические модули для контроля доступа пользователей и защиты базы данных, а также поддержки возможностей интеграции с другими системами и программами.

Внедрение медицинских информационных систем позволяет повысить каче-

ство обслуживания и снизить влияние человеческого фактора, эффективно взаимодействовать со всеми структурами медицинского учреждения, а также обеспечить гибкость и управляемость медицинской организацией [3, 4].

В таблице приведены наиболее известные медицинские информационные системы [5]. Среди отечественных можно выделить *Medods* – платформу для организации работы частных медицинских центров и стоматологий, а также сети клиник.

Таблица – Наиболее известные медицинские информационные системы

№	Название системы	Характеристика. Страна-разработчик
1	<i>Medods</i>	Платформа для организации работы частных медицинских центров и стоматологий, а также сети клиник (Россия)
2	<i>MedElement</i>	Сочетание облачных сервисов и мощной справочной системы для врачей, студентов-медиков и всех, кому важна забота о здоровье (Казахстан)
3	<i>Clinic365</i>	Специализированное CRM-решение для коммерческих клиник, нежели комплексная медицинская информационная система (Украина)
4	<i>Doctor Eleks</i>	Комплексное решение, позволяющее оптимизировать работу клиник любого размера и профиля (частных и государственных) (Украина)
5	<i>EMCiMED</i>	Передовая украинская медицинская информационная система для медицинских учреждений, частных клиник и лабораторий. (Украина)

Пользователь в части взаимодействия с внешними и смежными системами, методического, программного и технического обеспечения предъявляет к медицинским информационным системам следующие требования:

- поддержка информационного взаимодействия с другими информационными системами с помощью формирования и обработки информационных протоколов и пакетов;

- учет методических рекомендаций и нормативно-справочной документации используемых в здравоохранении;

- широкое использование международных и национальных стандартов операционных систем и интерфейсов;

- гибкость системы использования аппаратной медицинской техники и компьютерного парка [6].

Построение функциональной модели медицинской информационной системы

Для построения функциональной модели информационной системы для медицинских учреждений необходимо изучить предметную область, выявить и описать процессы, протекающие в этой области, и связи между этими процессами. На рисунке 1 приведена архитектура медицинской информационной системы диагностики и лечения пациента.

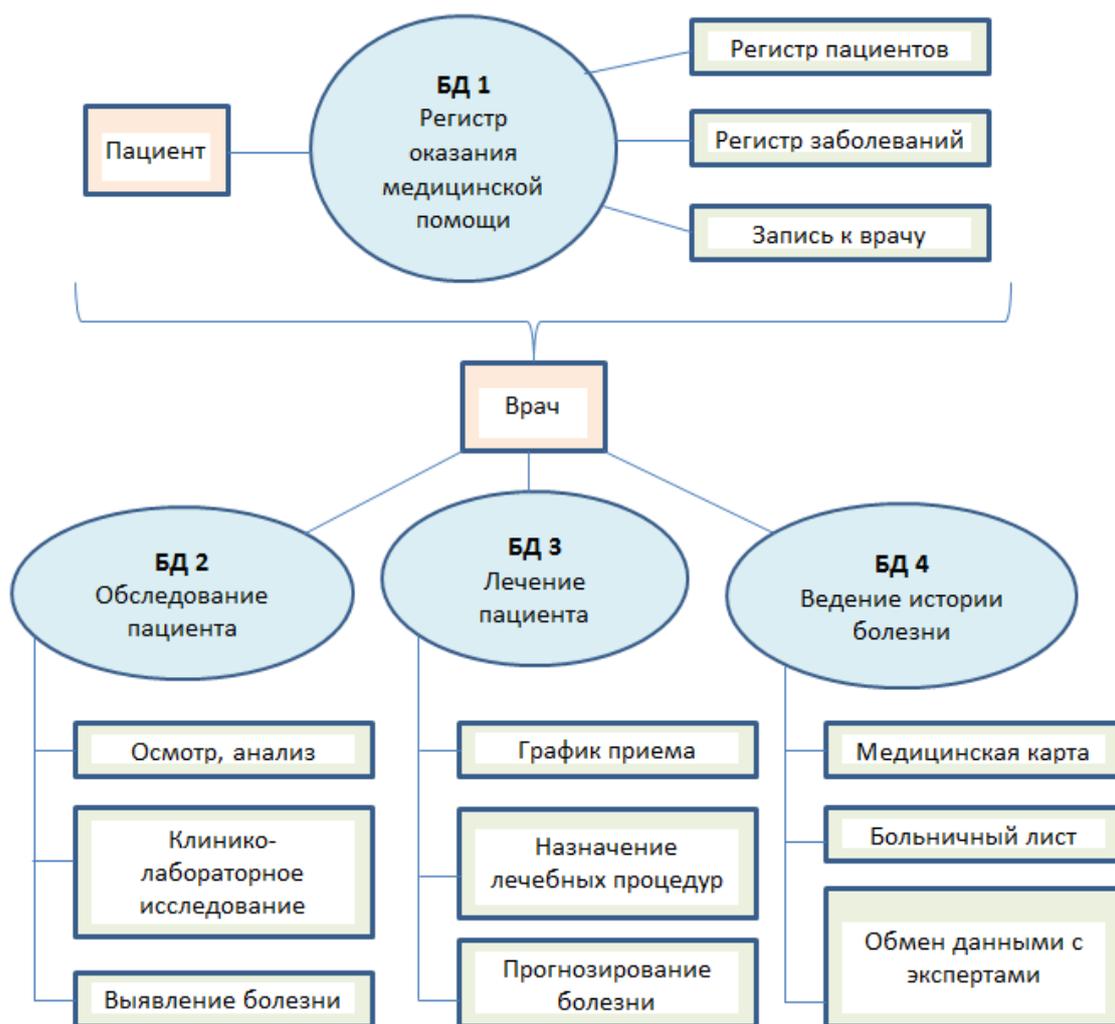


Рисунок 1 – Архитектура медицинской информационной системы диагностики и лечения пациента

Ключевые подсистемы этой информационной системы:

1. База данных (БД) 1 «Регистр оказания медицинской помощи», позволяет пациенту зарегистрироваться на прием к врачу. Подсистема позволяет внести данные о пациенте, осуществляет поиск свободного времени в графике врача и записывает пациента на прием.

Алгоритмическая функциональная модель подсистемы БД 1 «Регистр оказания медицинской помощи» приведена на рисунке 2.

2. При реализации подсистемы БД 2 «Обследование пациента» происходит взаимодействие разных медицинских про-

цессов по выявлению болезни. Врач, опираясь на свой предыдущий опыт или на знания медицинской литературы, определяет степень болезни. Оценка вероятности болезни, вынесенная на этом уровне, называется априорной, так как может быть развита и усовершенствована при дальнейшем исследовании. Следующий этап состоит в проведении клинико-диагностических исследований, определении предрасположенности пациента к заболеванию и усовершенствованию оценки вероятности болезни на основе результатов диагностики. На рисунке 3 представлена функциональная модель (DFD-диаграмма) БД 2 «Обследование пациента».

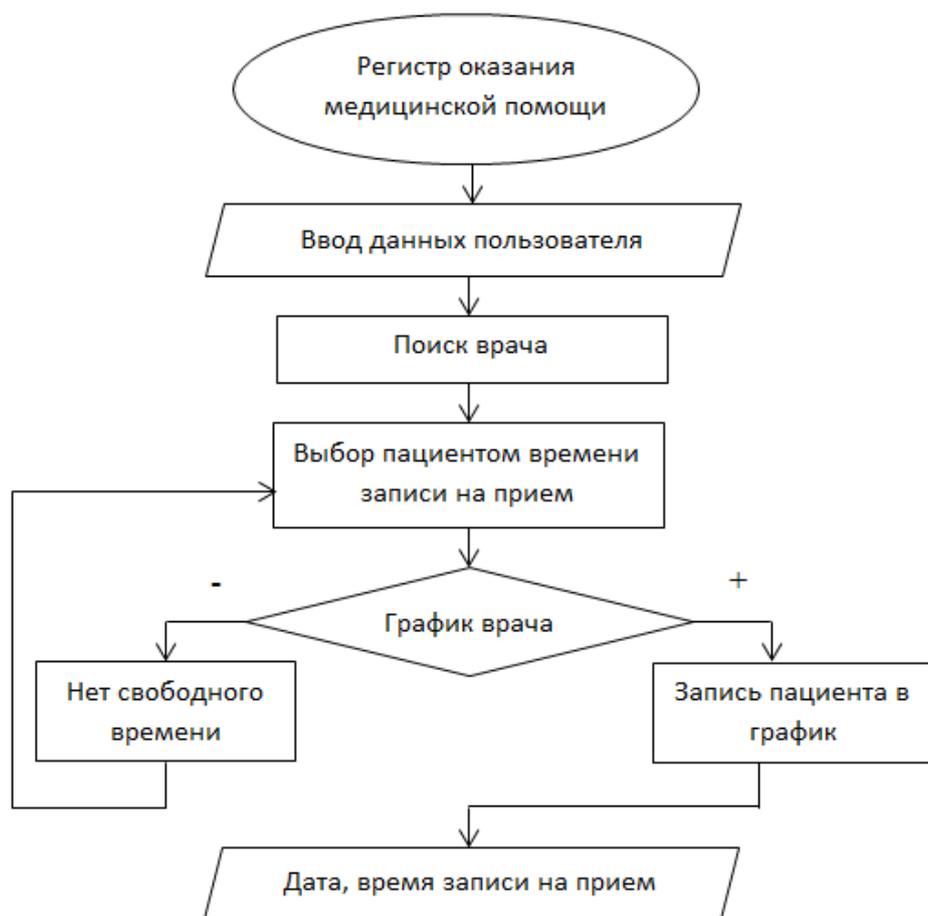


Рисунок 2 – Алгоритмическая модель реализации подсистемы БД 1 «Регистр оказания медицинской помощи»

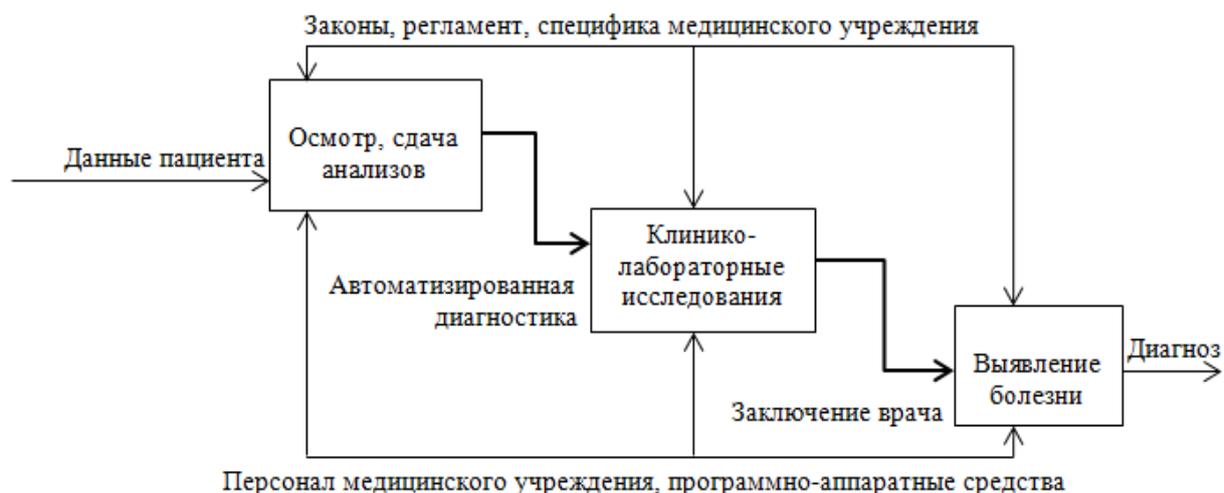


Рисунок 3 – Функциональная модель (DFD диаграмма) подсистемы БД 2 «Обследование пациента»

3. БД 3 «Лечение пациента» – подсистема, которая осуществляет выбор метода лечения и прогнозирование результатов лечения в краткосрочном и долгосрочном периодах. На рисунке 3 приведена функциональная модель подсистемы БД 3 «Лечение пациента».

4. БД 4 «Ведение истории болезни». История болезни – это основной медицинский электронный документ, в котором со-

держатся все необходимые сведения о больном, развитии его заболевания, результатах клинико-лабораторного обследования больного, назначениях врача, рецидивах и повторных процедурах. Разработанная контекстная диаграмма IDEF0 БД 4 «Ведение истории болезни» приведена на рисунке 4.

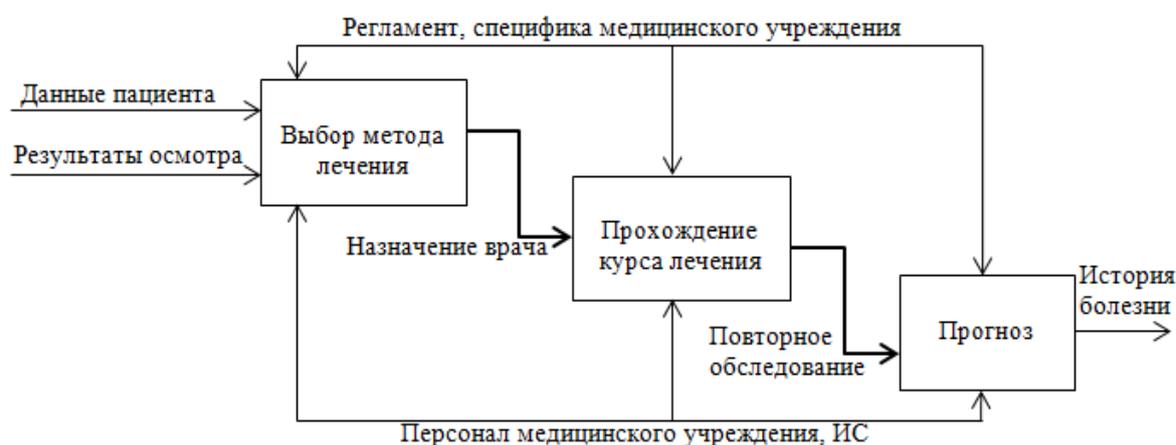


Рисунок 3 – Функциональная модель (DFD диаграмма) подсистемы БД 3 «Лечение пациента»

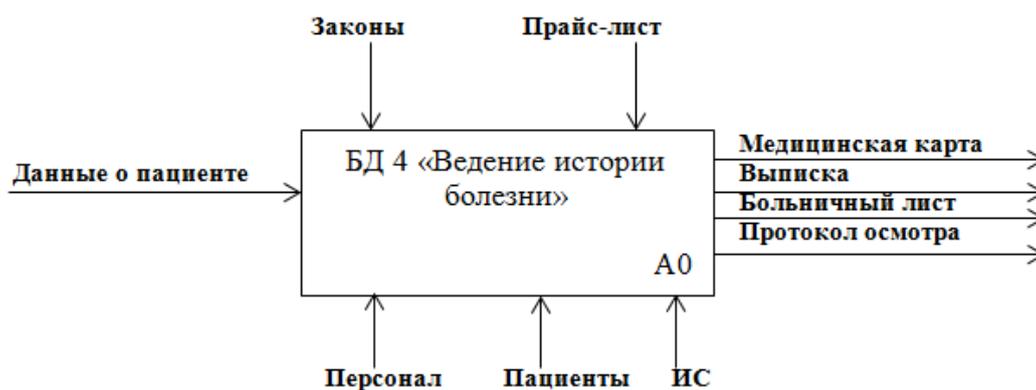


Рисунок 4 – Контекстная диаграмма IDEF0 БД 4 «Ведение истории болезни»

На сегодняшний день разработаны и успешно используются в системе здравоохранения множество медицинских информационных систем. Они работают по предписанным человеком правилам. Поэтому в настоящее время все усилия специалистов и ученых направлены на разработку методов и алгоритмов автоматизи-

рованного решения задач диагностики и лечения заболеваний.

Заключение

Эффективность внедрения и использования медицинской информационной системы, прежде всего, будет зависеть от вида такой системы, её функциональных

возможностей и специфики конкретного медучреждения. Следует учесть, что от удачной формализации медицинских процессов зависит легкость и управляемость медицинской информационной системой. В данной работе построены контекстные диаграммы основных подсистем медицин-

ской информационной системы диагностики и лечения пациента. Для моделирования основных медицинских процессов была использована методология *IDEF0* и *DFD*, отличительной особенностью которой является логическая соподчиненность рассматриваемых процессов.

Библиографический список

1. Черемных С. В. и др. Структурный анализ систем: IDEF-технологии. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
2. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Изд. «Стандарты и качество», 2009. – 408 с.
3. Денгаев А.М. Математическое моделирование в задачах прогнозирования и диагностики заболеваний // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т.2. № 1. С. 43-49.
4. Гусев С.Д., Кичигина Е.И., Мягкова Е.Г. Медицинская информатика: электронное учебное пособие. – Красноярск: Изд. КрасГМУ, 2016. – 150 с.
5. Анфиногенов И. Топ-8 медицинских информационных систем-2021: обзор и сравнительный анализ российских МИС. [Электронный ресурс] // Archimed: медицинские информационные системы, 2022. URL: <https://archimed.pro/blog/top-8-meditsinskikh-informatsionnykh-sistem-2021-obzor-i-sravnitelnyy-analiz-rossiyskikh-mis/> (дата обращения: 20.02.2022).
6. Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей медицинских информационных систем медицинских организаций (МИС МО) (утв. Министерством здравоохранения РФ 1 февраля 2016 г.).

References

1. Cheremnykh S. V. et al. Structural analysis of systems: IDEF-technologies. – M.: Finance and statistics, 2001. – 208 p.
2. Repin V.V., Eliferov V.G. Process approach to management. Modeling of business processes. – M.: Ed. «Standards and Quality», 2009. – 408 p.
3. Dengaev A.M. Mathematical modeling in the problems of forecasting and diagnosing diseases // Scientific research: results and prospects. 2021. V.2. No. 1. P. 43-49.
4. Gusev S.D., Kichigina E.I., Myagkova E.G. Medical informatics: electronic textbook. - Krasnoyarsk: Ed. KrasGMU, 2016. – 150 p.
5. Anfinogenov I. Top 8 medical information systems-2021: review and comparative analysis of Russian MIS. [Electronic resource] // Archimed: medical information systems, 2022. URL: <https://archimed.pro/blog/top-8-meditsinskikh-informatsionnykh-sistem-2021-obzor-i-sravnitelnyy-analiz-rossiyskikh-mis/> (date of access: 20.02.2022).
6. Guidelines for ensuring the functionality of medical information systems of medical organizations (MIS MO) (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation on February 1, 2016).

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
The author declare no conflicts of interests.*

Дата поступления в редакцию / Received 10.02.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 12.03.2022

Принята к публикации / Accepted 15.03.2022

© А.М. Денгаев, 2022

Сведения об авторе
List of Author

Денгаев Ахмед Магомедович – аспирант кафедры биотехнических и медицинских аппаратов и систем Дагестанского государственного технического университета.

Akhmed Dengaev – Postgraduate student of the Department of Biotechnical and Medical Devices and Systems, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Денгаев А.М.* Построение функциональных моделей подсистем медицинской информационной системы // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 45 - 51. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-45-51.

For citation: *Dengaev A.M.* Construction of functional models of subsystems of the medical information system // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 45 - 51. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-45-51.

ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 634.21

doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-52-60

АБРИКОСЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ДАГЕСТАНА: ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ПЛОДОВ

М.-Р.А.Казиев, С.Б. Батталов, Х.А. Алиев

Федеральный аграрный научный центр РД, Махачкала
367014, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. А. Шахбанова, 30
niva1956@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования биохимического состава в сортовом разрезе, товарные, технологические качества плодов селекционных сортов и гибридных форм абрикоса, выращиваемых в северо-западном предгорье Дагестана. Исследуемые сорта и формы абрикоса испытаны в технологическом аспекте (компоты, варенье, сухофрукты). Представлен сенсорный анализ переработанной продукции.

Ключевые слова: плоды абрикоса, биохимический состав, товарно-потребительские качества, сенсорный анализ, технологические свойства, продукты переработки.

Abstract. The article presents the results of the study biochemical composition in the varietal section, commercial, technological qualities of fruits of breeding varieties and hybrid forms of apricot grown in the northwestern foothills of Dagestan. The studied varieties and forms of apricots were tested in the technological aspect (comotes, jam, dried fruits). A sensory analysis of processed products is presented.

Key words: apricot fruits, biochemical composition, commodity-consumer qualities, sensory analysis, technological properties, processed products.

Введение

Одна из наиболее ценных косточковых пород юга России – абрикос. В плодах абрикоса гармонично сочетаются своеобразный аромат с богатым содержанием сахаров, кислот, пектина, каротина, витаминов (особенно витамина А), минеральных солей, необходимых для здоровья человека. Несмотря на значительные различия сортов абрикоса, качество плодов регламентируется одним стандартом [1], который распространяется на плоды всех культур-

ных сортов абрикоса *Armeniaca vulgaris* Lam., заготавливаемые, покупаемые, отгружаемые и реализуемые для потребления в свежем виде и промышленной переработки.

Плоды абрикоса употребляются в свежем виде, как диетический продукт. Кроме того, они представляют очень ценное сырьё для консервной, пищевой и кондитерской промышленности. Из них готовят высококачественные компо-

ты, варенье, джем, мармелад, сок, сухофрукты. Хороши они и для замораживания.

В ядрах косточек абрикоса содержится до 50% жира и до 25% белков, они служат для приготовления пищевого масла и урбеча, который используется в Дагестане как питательное лечебное средство.

Дагестан по своим природно-климатическим условиям является основной зоной промышленной культуры абрикоса в России. Насаждения его занимают около 3 тыс. га. Наиболее крупные массивы сосредоточены в Гергебильском, Левашинском, Унцукульском и Ботлихском районах.

Изучение биохимического состава и органолептических качеств абрикоса

Одной из задач, поставленных при исследовании на пригодность плодов абрикоса к переработке, было изучение их биохимического состава. Известно, что химический состав плодов, особенно содержание в них наиболее важных компонентов: сахаров и органических кислот, составляющих около 90% всех питательных веществ, характеризует пищевую (питательную) и консервную ценность плодов.

В республике сложившийся сезон потребления и переработки плодов абрикоса ограничен 10-12 днями, что затрудняет уборку плодов при высоких урожаях. Для бесперебойного обеспечения населения свежими плодами, а перерабатывающие предприятия – сырьём, необходимо создавать сорта абрикоса универсального назначения различных сроков созревания.

Химический состав плодов абрикоса богатый, разнообразный и находится в зависимости от биологических особенностей сорта, формы, подвержен значительной изменчивости под влиянием различных факторов внешней среды – условий возделывания, метеорологических условий вегетационного периода, приёмов агротехники.

Для определения химического состава плодов абрикоса, образцы отбирали с деревьев, выращиваемых на одинаковом агрофоне, с южной стороны кроны, со среднего яруса, одной и той же степени зрелости. Оценка качества плодов исследуемых сортов и гибридных форм абрикоса по содержанию растворимых сухих веществ, суммы сахаров, общей кислотности, витамина С была проведена в соответствии с методическими указаниями [2].

Биохимический состав плодов изучаемых сортов и форм абрикоса варьировал по годам в незначительной степени: содержание сухих веществ 13,1 – 17,8%, сахаров 8,54 – 11,46%, органических кислот 1,18 – 1,80%, витамина С (аскорбиновая кислота) 10,42 – 17,74% (таблица 1).

Среди сортообразцов с высоким содержанием сухих веществ в плодах выделяются: Уздень – раннего срока созревания (17,7%), Дженгутаевский (17,8%) и Форма 3/10 (17,2%) – позднего срока созревания. У контрольных сортов этот показатель ниже и составляет 16,8% (Хекобарш), 13,1% (Краснощёкий) и 15,9% (Шиндахлан). Некоторые сорта абрикоса показаны на рисунках 1 – 4.



Рисунок 1 – Абрикос сорта Уздень раннего срока созревания



*Рисунок 2 – Абрикос сорта
Тамаша раннего срока
созревания*



*Рисунок 3 – Абрикос сорта
Краснощекий среднего срока
созревания*



*Рисунок 4 – Абрикос
сорта Унцукульский
поздний*

Сахара плодово-ягодного сырья повышают давление крови и устраняют застойные явления в малом круге кровообращения в человеческом организме, увеличивают процент гемоглобина и улучшают работу мышц [3]. Селекционные сорта и формы выделяются повышенным содержанием сахаров по сравнению с контрольными сортами, за исключением сортов Тамаша (9,26%) и Эсделик (9,84%), у кон-

трольных сортов: Хекобарш – 11,04% и Шиндахлан – 10,64%, соответственно. Высокое содержание общего сахара в плодах отмечено у сортов: Уздень (11,46%) и Дженгутаевский (11,27%), а также у форм: 3/10 (11,24%), 6/22 (11,02%) и 9/5 (10,77%).

Органические кислоты играют важную роль в формировании органолептических качеств плодов.

Таблица 1 – Биохимические показатели плодов сортов и форм абрикоса (среднее за 2013-2015 гг.)

Сорт, форма	Растворимые сухие вещества, %	Сумма сахаров, %	Общая кислотность, %	Сахарокислотный индекс	Аскорбиновая кислота, мг
Сорта раннего срока созревания					
Хекобарш (контроль)	16,8	11,04	1,26	8,8	16,27
Тамаша	14,0	9,26	1,20	7,7	10,42
Уздень	17,7	11,46	1,20	9,6	16,46
Сорта среднего срока созревания					
Краснощекый (контроль)	13,1	8,54	1,24	6,9	14,16
Шалах	13,9	9,94	1,41	7,1	12,31
Хонобах	14,1	10,01	1,61	6,22	13,29
Элита 7/53	14,4	10,24	1,92	5,3	12,44
Элита 6/22	14,6	11,02	1,54	7,2	14,27
Сорта позднего срока созревания					
Шиндахлан (контроль)	15,9	10,64	1,18	9,0	17,35
Дженгутаевский	17,8	11,27	1,67	6,7	17,27
Эсделик	15,6	9,84	1,69	5,8	15,22
Унцукульский поздний	14,6	10,24	1,80	5,7	14,42
Элита 9/5	14,2	10,77	1,80	6,0	16,42
Элита 3/34	14,5	10,41	1,69	6,2	15,11
Элита 3/10	17,2	11,24	1,62	6,9	17,74
Элита 10/31	14,8	10,02	1,58	6,3	13,44
Среднее	15,4	10,43	1,52	7,1	15,07

Жизненно важным является для человека потребление фруктов и ягод богатых органическими кислотами – они улучшают микрофлору организма, норма-

лизуют работу желудочно-кишечного тракта [4].

Титруемая кислотность, выраженная в яблочной кислоте у изучаемых сортов-

разцов в среднем составила 1,52%. Важным товарно-потребительским показателем качества плодово-ягодного сырья является сахарокислотный индекс, являющийся объективным показателем гармоничности вкуса плодов. В наших исследованиях этот индекс составил 7,1, с диапазоном варьирования от 5,3 у гибридной формы 7/53 до 9,6 у сорта Уздень.

Витамин С является антиоксидантом и в значительной степени обуславливает пищевую ценность плодов абрикоса. Он способствует скорейшему заживлению ран, улучшает состояние кожи, усиливает сопротивляемость организма человека инфекциям. Недостаток витамина С в рационе питания человека, как известно, вызывает специфическое заболевание – цингу. Для предупреждения этих негативных явлений человек должен получать аскорбиновой кислоты 50-100 мг в сутки [5, 6, 7]. Выявлено, что многие сорта абрикоса превосходят по содержанию витамина С такие плодовые культуры как яблоня, груша, слива, черешня [4, 8]. Высокое содержание витамина С выявлено у сортов абрикоса: Уздень (16,46 мг%), Эсделик (15,22 мг%) и Дженгутаевский (17,27 мг%), а также у форм: 3/10 (17,74 мг%) и 9/5 (16,42 мг%), что позволяет характеризовать эти сортообразцы как высоковитаминные и выделять их для селекции в качестве источников ценного признака. В среднем по всем сортам и формам этот показатель составляет 15,07 мг%.

Таким образом, по результатам анализа по комплексу биохимических показателей плодов сортов и форм абрикоса, выращенных в условиях северо-западного предгорья Дагестана, выделены сорта: Уздень, Дженгутаевский и Эсделик, а также формы: 9/5, 3/10 и 6/22, как сорта и формы с наиболее оптимальным соотношением компонентов биохимического комплекса.

Качество плодов характеризуется различными признаками – как биологическими

(величина, форма, окраска, вкус аромат), так и признаками не свойственными плодам, но возникающими в процессе выращивания и доведения до потребителя (различные дефекты кожицы вследствие повреждения плодов болезнями, вредителями, градом, сеткой, ожогами, механические повреждения при съёме, товарной обработке, транспортировке плодов [9].

Наиболее важные сортовые признаки плодов абрикоса – форма, величина, окраска кожицы и мякоти, плотность и сочность мякоти, вкусовые и технологические качества плодов и их использование. В зависимости от сорта форма плодов абрикоса может быть округлой, овальной, реже обратнойцевидной, миндалевидной, плоскоокруглой.

Плоды могут быть неравнобокие, часто сжатые с боков, с более или менее выраженной бороздкой (брюшной шов), проходящей вдоль плода от углубления плодоножки до его вершины. Кожица плодов более или менее грубая, плотная или рыхлая, от почти белой до красновато-оранжевой, чаще различных оттенков жёлтой или оранжевой окраски, с румянцем или без него, опушенная реже блестящая без опущения (голая). Мякоть различной плотности и сочности, беловатого, жёлтого или оранжевого цвета, отделяющаяся от косточки или приросшая к ней, сладкого или кисло-сладкого вкуса, с характерным абрикосовым ароматом, выраженным в разной степени [10, 11].

При определении товарно-потребительских качеств плодов абрикоса, образцы собирали в оптимальные сроки, с учётом оценки внешнего вида и предварительной органолептической оценки. Срок съёма плодов сортов и форм абрикоса был растянут с 4 июля (сорт Тамаша) до 22 июля (сорт Эсделик).

Среди сортов раннего срока созревания наименьшей средней массой плода

выделяется сорт Тамаша – 29,2 г, масса которого на 5,8 г уступает массе контрольного сорта Хекобарш (35 г) (таблица 2).

Все исследуемые сорта и формы абрикоса среднего и позднего сроков созревания по средней массе плода уступают контрольным сортам: Краснощёкий (46,5 г) и Шиндахлан (40,8 г), соответственно, за исключением сорта Эсделик (45,7 г), который превосходит контрольный сорт Шиндахлан на 4,9 г.

Среднеазиатские сорта абрикоса Суханы, Курсадык – мелкоплодные. Эту склонность проявляют и формы, полученные от свободного опыления этих сортов,

сорт: Тамаша – 29,2 г, формы: 9/5 – 30,1 г, 7/53 – 31,2 г.

Среди исследуемых сортов и форм абрикоса наибольшую среднюю массу 1 плода имеют сорта: Краснощёкий (контроль) – 46,5 г, Эсделик – 45,7 г, Шиндахлан (контроль) – 40,8 г. Наименьшей средней массой 1 плоды выделились сорта: Тамаша – 29,2 г, и формы: 9/5 – 30,1 г, 7/53 – 31,2 г.

Исследуемые сорта и формы абрикоса можно условно разделить на 3 группы по средней массе 1 плода: 1 – крупноплодные (40 г и более); 2 – среднеплодные (от 35 до 40 г); 3 – мелкоплодные (до 35 г).

Таблица 2 – Товарно-потребительские и технологические качества сортообразцов абрикоса

Сорт, форма	Средняя масса плода, г	% отхода (косточка)	Форма плода	Окраска плода	Оценка свежих плодов, балл	Оценка консервов, балл		
						компо-ты	варе-нье	сухо-фрукты
Сорта раннего сорта созревания								
Хекобарш (контроль)	35,0	6,5	округло-овальная	кремрвая	4,5	4,6	-	-
Тамаша	29,2	6,0	округлая	желтая с румянцем	4,5	4,5	-	-
Уздень	39,7	5,6	округлая	лимонно-желтая с румянцем	4,6	4,5	4,5	-
Сорта среднего срока созревания								
Краснощёкий (контроль)	46,5	6,2	округлая	оранжевая	4,6	4,5	3,5	3,0
Элита 7/53	31,2	7,0	округлая	оранжевая	4,3	3,5	3,5	-
Элита 6/22	40,4	5,6	округлая	кремовато-желтая	4,4	3,9	-	-
Сорта позднего срока созревания								
Шиндахлан (контроль)	40,8	7,03	округлая	кремовато-желтая	4,9	4,5	-	-
Дженгутаевский	35,0	5,1	округлая, заостренная к вершине	желтая	4,6	4,6	4,6	4,5
Эсделик	45,7	6,0	округлая, слегка скошенная	зеленовато-кремовая	4,5	4,5	4,5	-
Унцукульский поздний	40,0	6,7	плоско-овальная, сжатая с боков	желтая	4,5	4,4	4,5	4,4
Элита 9/5	30,1	6,5	округлая	желтовато-оранжевая	4,0	4,0	4,0	4,4
Элита 3/10	35,0	6,3	округлая	желтая с румянцем	4,5	-	-	3,9
Элита 10/31	39,1	6,1	округлая	кремовая	4,4	-	-	4,0

Исходя из данной классификации:

1) к крупноплодным сортам и формам абрикоса могут быть отнесены сорта (в убывающем порядке): Краснощёкий – 46,5 г, Эсделик – 45,7 г, Шиндахлан – 40,8 г, Унцукульский поздний – 40,0 г; формы: 6/22 – 40,4 г;

2) к среднеплодным сортам и формам – сорта: Уздень – 39,7 г, Хекобарш – 35,0 г, Дженгутаевский – 35,0 г; формы: 10/31 – 39,0 г; 3/10 – 35,0 г;

3) к мелкоплодным сортам и формам – сорта: Тамаша – 29,2 г; формы: 7/53 – 31,2 г, 9/5 – 30,1 г.

Самый высокий процент отхода в виде косточки наблюдается у формы среднего срока созревания – 7/53 (7,0%), что на уровне контрольного сорта позднего срока созревания – Шиндахлан (7,03%); низкий – у сортов: Дженгутаевский (5,1%), Уздень (5,6%) и у формы 6/22 (5,6%). Этот показатель важен для консервной промышленности, в частности, сокового производства.

Из исследуемых селекционных сортов и элитных форм абрикоса наиболее распространённой формой плодов является округлая форма, что можно отнести к сортовой особенности.

Преобладающей покровной окраской плодов среди исследуемых сортов и форм абрикоса была жёлтая и оранжевая.

Высокими вкусовыми достоинствами плодов выделяются сорта Уздень, Краснощёкий, Шиндахлан, Дженгутаевский, также форма 9/5 с оценкой вкуса – 4,6-4,9 баллов. Остальные сорта имеют оценку вкуса от 4,3 до 4,5 баллов.

Сорта и элитные формы отличаются и по технологическим свойствам, качеству продуктов переработки. Для оценки технологических качеств сортов и форм абрикоса нами были выработаны различные консервированные виды продукции – компоты, варенье, сушёная продукция. В зависимости от назначения и дальнейшего использования абрикосы снимают в разном

состоянии зрелости. Так, для сушки плоды должны быть вполне зрелыми или даже подвяленными на дереве для максимального накопления сахара. Для производства соков с мякотью и замораживания плоды также должны быть зрелыми или близкими к потребительской зрелости, когда содержание сахара и красящих веществ в плодах максимальное, окраска мякоти наиболее интенсивная, консистенция нежная, не волокнистая, аромат плодов хорошо выражен. Для выработки компотов и варки варенья плоды абрикоса должны быть убраны в технической степени зрелости, т.е. достигшими уже нормального для сорта размера и окраски, но с достаточно плотной мякотью, способной выдержать термическую обработку (стерилизацию).

Для транспортировки плодов абрикоса на дальние расстояния и реализации в свежем виде абрикосы снимают с дерева за 3-7 дней до наступления потребительской степени зрелости и перевозят самолётами, авторефрижераторами, в вагонах-холодильниках [1].

Сенсорный анализ (дегустационная оценка) является одним из методов оценки качества плодово-ягодного сырья и продуктов их переработки. При групповой дегустации компоты и варенье, изготовленные из плодов сорта Дженгутаевский получили по 4,6 балла.

Наиболее высокие дегустационные оценки компотов были отмечены у сортов: Хекобарш, Дженгутаевский – 4,6 баллов.

Плоды не всех сортов и форм абрикоса при естественной сушке дают качественный сухофрукт. Сухофрукты хорошего качества дали сорта Дженгутаевский, Унцукульский поздний, форма 9/5 (от 4,4 до 4,5 баллов).

Заключение

По результатам многолетних исследований биохимического состава и товарно-потребительских качеств плодов селекци-

онных сортов и гибридных форм абрикоса, выращенных в условиях северо-западного предгорья Дагестана, можно сделать следующие выводы:

1. По комплексу биохимических показателей плодов сортов и форм абрикоса, выделились сорта: Уздень, Дженгутаевский и Эсделик, а также формы: 9/5, 3/10 и 6/22, как сорта и формы с наиболее оптимальным соотношением компонентов биохимического комплекса.

2. По массе одного плода отличились сорта: Краснощёкий – 46,5 г, Эсделик – 45,7 г, Шиндахлан – 40,8 г, Унцукульский поздний – 40,0 г; и формы абрикоса: 6/22 – 40,4 г, как сортообразцы с наиболее крупными плодами.

3. Наименьший процент отхода в виде косточки наблюдается у сортов: Дженгута-

евский (5,1%), Уздень (5,6%) и у формы 6/22 (5,6%).

4. Наиболее распространённой формой плодов абрикоса является округлая форма.

5. Превалирующей покровной окраской плодов среди исследуемых сортов и форм абрикоса была жёлтая и оранжевая.

6. Высокими вкусовыми достоинствами выделяются сорта Уздень, Дженгутаевский и форма 9/5 с оценкой вкуса по 4,6 баллов.

7. Высокими вкусовыми достоинствами плодов выделяются сорта абрикоса Уздень, Краснощёкий, Шиндахлан, Дженгутаевский, также форма с дегустационной оценкой 4,6-4,9 баллов.

8. Сухофрукты хорошего качества дали сорта Дженгутаевский, Унцукульский поздний, форма 9/5 (от 4,4 до 4,5 баллов).

Библиографический список

1. ГОСТ 32787-2014. Абрикосы свежие. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 13 с.
2. Методические указания по химико-технологическому сортоиспытанию овощных, плодовых и ягодных культур для консервной промышленности. М.: Россельхозакадемия, 1993. 107 с.
3. Поздняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1999. 447 с.
4. Гусейнова Б.М., Даудова Т.И. Влияние сортовых особенностей и природных факторов выращивания абрикосов на биохимический комплекс их плодов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 38-44.
5. Лилишенцева А.Н., Гайдым И.Л., Александровская Е.С., Сафронова Д.А. Содержание витамина С в консервированной продукции для детского питания // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 8. С. 134-135.
6. Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Колос, 1980. 494 с.
7. Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Суханов Б.П., Кудашева В.А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека. М.: Колос, 2002. 424 с.
8. Чалая Л.Д., Причко Т.Г. Качество плодов различных сортов абрикоса // Садоводство и виноградарство. 2013. № 3. С. 26-30.
9. Франчук Е.П. Товарные качества плодов. М.: Агропромиздат, 1986. 269 с.
10. ГОСТ Р 50519-93 (ИСО 2826-74). Абрикосы. Руководство по хранению в холодильнике. М.: Изд-во стандартов, 2004. 15 с.
11. Рыбаков М.Н., Фёдоров Б.С. Стандартизация и качество фруктов, овощей и картофеля. М.: Издательство стандартов, 1982. 200 с.

Referenses

1. GOST 32787-2014. Abrikosy svezhie. Tekhnicheskie usloviya. M.: Standartinform, 2015. 13 s.
2. Metodicheskie ukazaniya po himiko-tekhnologicheskomu sortoispytaniyu ovoshchnyh, plodovyh i yagodnyh kul'tur dlya konservnoj promyshlennosti. M.: Rossel'hozakademiya, 1993. 107 s.

3. Pozdnyakovskij V.M. Gigienicheskie osnovy pitaniya, bezopasnost' i ekspertiza prodovol'stvennyh tovarov. Novosibirsk: Izd-vo NGU, 1999. 447 s.
4. Gusejnova B.M., Daudova T.I. Vliyanie sortovyh osobennostej i prirodnyh faktorov vyrashchivaniya abrikosov na biohimicheskij kompleks ih plodov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2018. № 4. S. 38-44.
5. Lilishenceva A.N., Gajdym I.L., Aleksandrovskaya E.S., Safronova D.A. Soderzhanie vi-tamina S v konservirovannoj produkcii dlya detskogo pitaniya // Hranenie i pererabotka sel'-hozsyrya. 2003. № 8. S. 134-135.
6. Pleshkov B.P. Biohimiya sel'skohozyajstvennyh rastenij. M.: Kolos, 1980. 494 s.
7. Tutel'yan V.A., Spirichev V.B., Suhanov B.P., Kudasheva V.A. Mikronutrienty v pitanii zdorovogo i bol'nogo cheloveka. M.: Kolos, 2002. 424 s.
8. CHalaya L.D., Prichko T.G. Kachestvo plodov razlichnyh sortov abrikosa // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2013. № 3. S. 26-30.
9. Franchuk E.P. Tovarnye kachestva plodov. M.: Agropromizdat, 1986. 269 s.
10. GOST R 50519-93 (ISO 2826-74). Abrikosy. Rukovodstvo po hraneniyu v holodil'nike. M.: Izd-vo standartov, 2004. 15 s.
11. Rybakov M.N., Fyodorov B.S. Standartizaciya i kachestvo fruktov, ovoshchej i kartofelya. M.: Izdatel'stvo standartov, 1982. 200 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 18.12.2021

Одобрена после рецензирования / Revised 23.01.2022

Принята к публикации / Accepted 19.03.2022

© М.-Р.А.Казиев, С.Б. Батталов, Х.А. Алиев, 2022

Сведения об авторах **List of Authors**

Казиев Магомед-Расул Абдусаламович – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела агроландшафтного земледелия Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан.

Magomed-Rasul Kaziev – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Department of Agrolandscape Agriculture of the Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Daghestan.

Батталов Садрутдин Батталович – директор опытной станции, старший научный сотрудник Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан.

Sadrutdin Battalov – Experimental Station Director, Senior Researcher of the Federal Agrarian Research Center of the Republic of Daghestan.

Алиев Хабагин Алиевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан.

Khabagin Aliev – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Federal Agrarian Research Center of the Republic of Daghestan.

Ссылка для цитирования: *Казиев М.-Р.А., Батталов С.Б., Алиев Х.А.* Абрикосы Северо-Западного Дагестана: исследование состава и пищевой ценности плодов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 52 - 60. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-52-60.

For citation: *Kaziev M.-R.A., Battalov S.B., Aliev Kh.A.* Apricots of the North-Western Dagestan: a study of the composition and nutritional value of fruits // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 52 - 60. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-52-60.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА АМАРАНТОВОЙ МУКОЙ

С.Н. Едыгова

Майкопский государственный технологический университет, Майкоп
385000, Россия, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191
esaida@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты по влиянию амарантовой муки на качество пшеничного хлеба из муки первого сорта. В ходе работы, было доказано положительное влияние амарантовой муки на качество готового изделия. Использование амарантовой муки при выпечке пшеничного хлеба позволило ускорить подъемную силу дрожжей, улучшить его технологические свойства и придать функциональную направленность.

Ключевые слова: пшеничный хлеб, пшеничная мука, амарант, амарантовая мука, технология.

Abstract. The paper presents the results on the effect of amaranth flour on the quality of wheat bread from flour of the first grade. In the course of the work, the positive effect of amaranth flour on the quality of the finished product was proved. The use of amaranth flour in baking wheat bread made it possible to accelerate the lifting force of yeast, improve its technological properties and give a functional focus.

Key words: wheat bread, wheat flour, amaranth, amaranth flour, technology.

Введение

Хлебопекарная промышленность относится к ведущим пищевым отраслям агропромышленного комплекса и выполняет задачу по выработке продукции первой необходимости. Хлеб, как продукт первой необходимости, становится стратегическим ресурсом, что подтверждается доктриной, утвержденной Президентом России [1].

В последние годы наметилась тенденция обогащения хлебобулочных изделий различными биологически активными веществами растительного происхождения [2, 3, 4, 5]. Амарантовая мука идеально подходит для этих целей. Амарант – красиво цветущее высокое растение, в листьях и семенах которого много пользы. Очень мелкие цветы собраны в длинные

вишневого цвета метелки, живописно свисающие вниз. Осенью в них образуются семена, которые потом и используются для помола. Амарантовая мука – это продукт переработки семян амаранта.

Исследование состава амарантовой муки

В зависимости от качества муки белки содержатся в количестве от 9 до 13 г на 100 г, что близко к показателям пшеничной. Но набор аминокислот у них разный. Например, порошок из амарантовых зерен содержит в 2 раза больше такой незаменимой аминокислоты, как лизин, чем пшеничная. Лизин не синтезируется человеческим организмом, но имеет свойство участвовать в обмене веществ. Большая часть белков амаранта – глобулины, аль-

бумины, польза которых доказана давно.

Углеводов в пшеничной муке немного больше, что тоже говорит о преимуществах амарантовой муки (показатель колеблется от 61 г до 68 г на 100 г вещества), калорийность – 344 ккал [6].

Амарантовая мука обладает высокой биологической ценностью, служит богатым источником кальция, магния, фосфора и витамина С. Она не содержит глютена, снижает уровень холестерина, улучшает состояние артерий, уменьшает риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, способствует выводу шлаков. В зернах амаранта содержится до 16% белка (состоящего более чем на 30% из незаменимых аминокислот), до 15% жиров (50% из которых приходится на долю полиненасыщенной жирной кислоты Омега-6), и около 9-11% пищевых волокон (клетчатки). В составе амарантовых семян также весьма высоко содержание витаминов (Е, А, В1, В2, В4, С, D), весьма важных для организма человека макро- и микроэлементов (железо, калий, кальций, фосфор, магний, медь и др.), а также других биологически активных веществ, определяющих разнообразные лечебно-профилактические свойства амарантовой муки (сквален, фитостеролы, фосфолипиды) [7].

Разработка технологии пшеничного хлеба с добавкой из амаранта

Новая технология производства пшеничного хлеба с использованием амарантовой муки позволяет выработать продукцию, которая отвечает по качеству требованиям стандарта, с одновременным улучшением вкусовых достоинств. Целью данной работы является повышение качества и расширение ассортимента хлебобулочных изделий с добавлением амарантовой муки.

Для выпечки хлеба применяли муку пшеничную 1 сорта, амарантовую муку, дрожжи сухие хлебопекарные, соль пищевую поваренную, воду питьевую, подсолнечное масло. Все подготовленное сырье к выпечке хлеба оценивалось по органолептическим показателям (цвет, запах, вкус), качество продуктов соответствовало действующим стандартам.

Для определения влияния амарантовой муки на качество пшеничного хлеба, проводились лабораторные выпечки пшеничного хлеба, где в тесто вносили различную дозировку амарантовой муки: 5%, 10%, 20%. Тестовые заготовки показаны на рисунке 1.

После остывания проводили оценку их качества. Экспериментальные образцы пшеничного хлеба с амарантовой мукой представлены на рисунке 2.

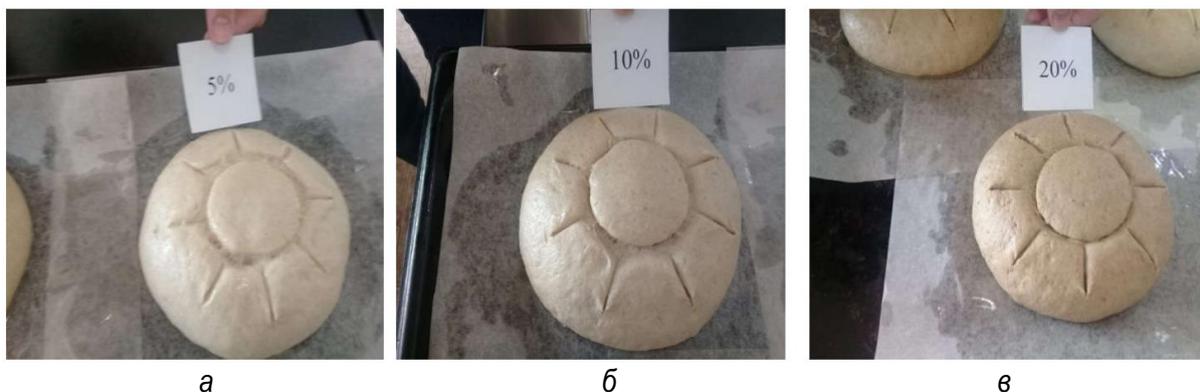


Рисунок 1 – Тестовые заготовки пшеничного хлеба с различной дозировкой амарантовой муки (а – 5% амарантовой муки; б – 10% амарантовой муки; в – 15% амарантовой муки)



Рисунок 2 – Выпеченные образцы пшеничного хлеба с амарантовой мукой

Заключение

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что образец с добавлением 10% амарантовой муки превосходит другие выпеченные образцы хлеба. Он соответствует требованиям нормативной документации. Характер пористости достаточно равномерный, окраска корки соответствовала виду изделия, эластичность мягкая, аромат приятный и выра-

женный, вкус сладковатый, хлебный, выражен, разжевываемость хорошая, достаточно нежная на ощущение во рту.

Таким образом, использование амарантовой муки в производстве пшеничного хлеба является реальной возможностью для повышения пищевой и биологической ценности, а также позволяет расширить ассортимент хлебобулочных изделий для потребителей.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.10.2010 г. № 1873-р «Основы государственной политики в области здорового питания населения РФ на период до 2020 г.» // Российская газета. № 5328. 2010. 3 ноября.
2. Едыгова С.Н. Использование овощных соков в хлебопечении // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам II научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2016. С. 274-277.
3. Колотий Т.Б. Обогащение пшеничного хлеба растительной добавкой эхинацеи пурпурной // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. №2. С. 35-39.
4. Меретукова Ф.Н. Исследование технологии производства хлеба с добавлением фосфатитного концентрата // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. № 4. С. 31-35.
5. Едыгова С.Н. Разработка пшеничного хлеба с использованием настоя зеленого чая // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 151-152.
6. Амарантовая мука [Электронный ресурс] // Поваренок.ру. 2021. URL: <https://www.povarenok.ru/articles/show/8101/> (дата обращения 12.02.2022).
7. Мука из амаранта: польза и вред [Электронный ресурс] // Полезный сайт. 2019. URL: <https://poleznii-site.ru/pitanie/prochie-produkty/muka-iz-amaranta-polza-ivred.html> (дата обращения 10.01.2022).

Referenses

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25.10.2010 g. № 1873-r «Osnovy gosudar-

stvennoj politiki v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya RF na pe-riod do 2020 g.» // Rossijskaya gazeta. № 5328. 2010. 3 noyabrya.

2. Edygova S.N. Ispol'zovanie ovoshchnyh sokov v hlebopечении // Sovremennye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii: sbornik statej po materialam II nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. 2016. S. 274-277.

3. Kolotij T.B. Obogashchenie pshenichnogo hleba rastitel'noj dobavkoj ekhinacei purpurnoj // Nauchnye issledovaniya: itogi i perpektivy. 2021. T. 2. №2. S. 35-39.

4. Meretukova F.N. Issledovanie tekhnologii proizvodstva hleba s dobavleniem fosfa-titnogo koncentrata // Nauchnye issledovaniya: itogi i perpektivy. 2021. T. 2. № 4. S. 31-35.

5. Edygova S.N. Razrabotka pshenichnogo hleba s ispol'zovaniem nastoya zelenogo chaya // Povyshenie kachestva i bezopasnosti pishchevych produktov: Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2018. S. 151-152.

6. Amarantovaya muka [Elektronnyj resurs] // Povarenok.ru. 2021. URL: <https://www.povarenok.ru/articles/show/8101/> (data obrashcheniya 12.02.2022).

7. Muka iz amaranta: pol'za i vred [Elektronnyj resurs] // Poleznyj sajt. 2019. URL: <https://poleznii-site.ru/pitanie/prochie-produkty/muka-iz-amaranta-polza-ivred.html> (data obrashcheniya 10.01.2022).

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 15.01.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 29.01.2022

Принята к публикации / Accepted 12.02.2022

© С.Н. Едыгова, 2022

Сведения об авторе

List of Author

Едыгова Саида Нурбиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции Майкопского государственного технологического университета.

Saida Edygova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Maikop State Technological University.

Ссылка для цитирования: *Едыгова С.Н.* Технология обогащения пшеничного хлеба амарантовой мукой // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 61 - 64. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-61-64.

For citation: *Edygova S.N.* Technology of enrichment of wheat bread with amaranth flour // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 61 - 64. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-1-61-64.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕРМИКУЛИТОБЕТОНОВ С ДОБАВКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА

Т.А. Хежев, А.В. Журтов

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик
360004, Россия, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173
hejev_tolya@mail.ru

Аннотация. В работе исследована зависимость строительно-технических свойств вермикулитобетонов от соотношения в смеси таких компонентов, как цемент вермикулит, вулканический пепел, известь и гипс. Представлена зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности огнезащитного композита. Установлена зависимость предела прочности на изгиб от предела прочности на сжатие для исследуемых бетонов. В ходе исследования выяснено, что фибровое армирование вермикулитобетонной матрицы увеличивает предел прочности композита на изгиб от 55 до 75 %.

Ключевые слова: вулканический пепел, цемент, вермикулит, известь, гипс, базальтовая фибра, вермикулитобетон, средняя плотность, предел прочности на сжатие и изгиб, фибровермикулитобетон.

Abstract. In this paper, the dependence of the construction and technical properties of vermiculite concretes on the ratio in the mixture of such components as cement vermiculite, volcanic ash, lime and gypsum has been studied. The dependence of the compressive strength on the average density of the fire-retardant composite is presented. The dependence of the bending strength on the compressive strength for the studied concretes has been established. In the course of the study, it was found that fiber reinforcement of the vermiculite-concrete matrix increases the flexural strength of the composite from 55 to 75%.

Key words: volcanic ash, cement, vermiculite, lime, gypsum, basalt fiber, vermiculite concrete, average density, compressive and bending strength, fiber vermiculite concrete.

Введение

Обрушение строительных конструкций при развитии пожарной ситуации на объектах приводит к большому количеству человеческих жертв и материального ущерба. Устройство теплозащитных покрытий на пористых заполнителях типа вспученного вермикулита и перлита, является одним из наиболее эффективных и рациональных способов повышения предела огнестойкости строительных конструкций. Вермикулит

относится к алюмосиликатам слоистой структуры, образующимся в природе из слюд, преимущественно флогопита и биотита. Отличительной его особенностью является способность вспучиваться при обжиге, многократно увеличиваясь в объеме. Низкие насыпная плотность вспученного вермикулита (как правило, не более 150 кг/м³) и коэффициент теплопроводности, негорючесть, химическая и биологическая стойкость, высокая звукопоглощающая

способность, высокая рабочая температура применения (не менее 1000°C) определяют эффективность его использования для получения ряда строительных материалов, в первую очередь, теплоизоляционных и огнестойких [1].

Одновременно с основной огнезащитной функцией, такие покрытия могут улучшить декоративные, акустические, теплозащитные свойства конструкций, что делает их применение еще более эффективным. Огнезащитные покрытия на основе вермикулита и перлита не лишены недостатков. Например, при повышенных температурах во время пожара коэффициент теплопроводности этих материалов значительно возрастает, что негативно влияет на огнестойкость конструкций. Одним из путей устранения недостатков может быть использование огнезащитных составов с применением вулканических горных пород.

Исследование строительнотехнических свойств вермикулитобетонов

В работах [1, 2, 3] выявлено, что наиболее эффективными, в качестве огнезащиты строительных конструкций, являются вермикулитобетоны ($\rho_{\text{ср}} = 500 - 800 \text{ кг/м}^3$) с соотношением «вяжущее: вермикулит» 1:2 – 1:4 по объему. При последующем снижении средней плотности вермикулитобетонов ухудшаются их огнезащитные и прочностные характеристики. Вермикулитобетоны на основе портландцемента имеют высокие огнезащитные и эксплуатационные характеристики, что делает возможным значительно расширить их области применения. Однако имеются и недостатки вермикулитобетонов: повышенный расход портландцемента, относительно высокий коэффициент теплопроводности при воздействии высоких температур. Вулканический пепел, являясь гидравлически активной тонкомолотой добавкой, способен вступать в реакцию гидратации с

компонентами цемента. Для повышения гидравлической активности вулканического пепла целесообразно использовать активаторы реакции (щелочных и сульфатных). В исследовании [4] показано, что в пенобетонах с применением вулканических горных пород можно заменить известью (50 %) и гипсом (2 %) цементное вяжущее. В связи с этим, в проведенных исследованиях для снижения расхода цементного вяжущего в огнезащитных бетонах в качестве активатора скрытой гидравлической активности вулканического пепла применена воздушная негашеная известь и строительный гипс.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

На рисунке 1 представлена зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности исследованных составов из таблицы 1. Поскольку пористость и средняя плотность бетона связаны между собой, рассматриваемая зависимость, по сути, является общеизвестной зависимостью прочности бетона на сжатие от пористости.

Представленная на рисунке 1 зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона описывается как

$$R = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \rho^{2,97} \quad (1)$$

Показатель $R^2 = 0,96$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 92 % не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 8 %. В связи с этим зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона, т.е. пористости, с достаточной для практических целей точностью можно рассматривать как инвариантную к другим факторам. Полученная зависимость хорошо согласуется с результатами исследований Давидюка А.Н. [5] для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях.

Таблица 1 – Зависимость строительно-технических свойств вермикулитобетонов от соотношения компонентов в смеси

№ состава	Соотношение компонентов в смеси, % по массе					Количество СДО в % от массы вяжущего	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
	цемент	вермикулит	пепел	известь	гипс			на сжатие	на изгиб
1	71,9	29,1	-	-	-	-	750	6,2	2,7
2	50,3	29,1	21,4	-	-	-	762	5,9	2,5
3	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	-	750	6,0	2,4
4	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,1	720	6,2	2,6
5	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,2	710	6,15	2,5
6	22,5	28,3	25,8	22,5	0,9	0,3	710	6,0	2,4
7	62,1	37,9	-	-	-	-	595	2,9	1,6
8	43,5	38,1	18,4	-	-	-	600	2,7	1,5
9	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	-	590	2,8	1,4
10	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,1	570	2,9	1,35
11	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,2	560	2,8	1,3
12	19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,3	540	2,7	1,2
13	56,2	43,8	-	-	-	-	500	1,8	0,65
14	39,3	43,8	16,7	-	-	-	510	1,7	0,6
15	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	-	500	1,7	0,65
16	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,1	480	1,8	0,7
17	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,2	470	1,7	0,6
18	17,9	44,3	19,2	17,9	0,7	0,3	460	1,6	0,5

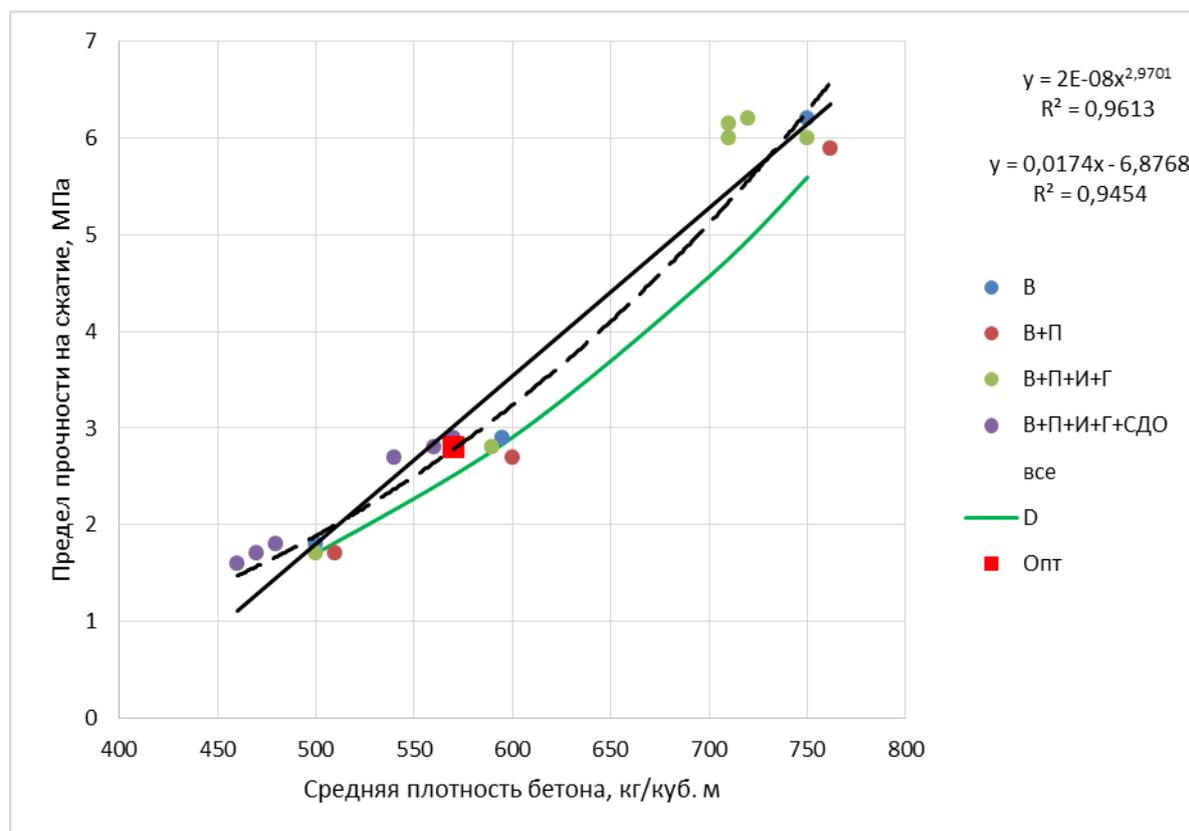


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона

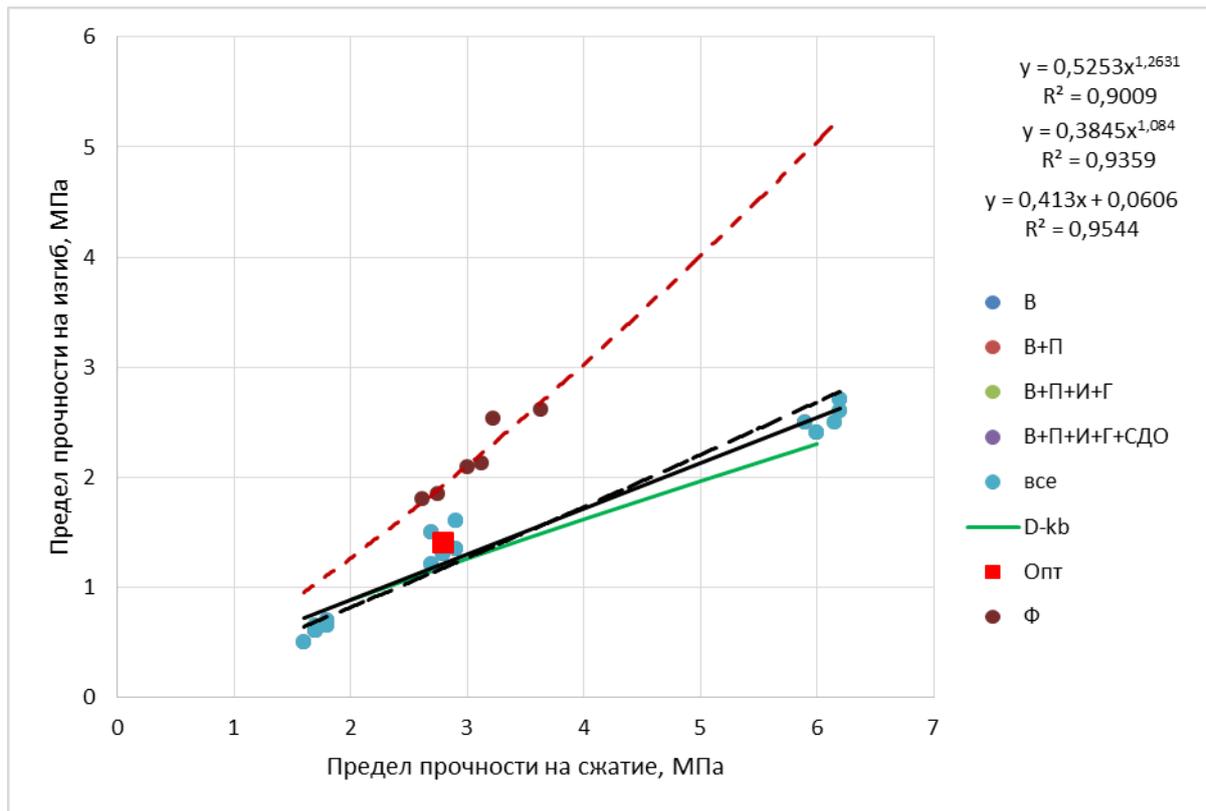


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при изгибе от предела

На рисунке 2 представлена зависимость предела прочности на изгиб от предела прочности на сжатие для исследуемых бетонов. На рисунке 1 и 2 обозначены через В – вермикулит; В + П – вермикулит и пепел; В + П + И + Г – вермикулит, пепел, известь и гипс; В + П + И + Г + СДО – вермикулит, пепел, известь, гипс и смола древесная омыленная; Ф – фибровермикулитобетон; D – зависимость по данным Давидюка А.Н. для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях (рисунок 1) и для керамзитобетона для осевого растяжения с переводным коэффициентом 2.3 согласно [5]; Опт – рациональный состав по таблице 2.

Представленная на рисунке 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R для исследованных бетонов без фибрового армирования описывается формулой прочности на сжатие

$$R_f = 0,385 \cdot R^{1,084} \quad (2)$$

Показатель $R^2 = 0,936$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 87 % не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 13 %. Очевидно, что полученная зависимость (2) хорошо согласуется с данными Давидюка А.Н. [5] для керамзитобетонов, что позволяет сделать предположение о независимости зависимости предела прочности на изгиб (растяжение) от предела прочности на сжатие от ряда рецептурных факторов бетонов, что важно с точки зрения расчета конструкций, поскольку позволяет использовать единую базу нормативных значений сопротивлений бетона.

Представленная на рисунке 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R

для исследованных бетонов с фибровым армированием описывается формулой

$$R_f = 0,525 \cdot R^{1,263} \quad (3)$$

Показатель $R^2 = 0,9$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 80 % не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет 20 %. Вероятно, что основными факторами, оказывающими влияние на зависимость (2) и (3), помимо прочности бетона на сжатие, являются параметры фибрового армирования. Применение фибрового армирования обеспечивает повышение предела прочности на изгиб от 55 до 75%.

Фибровое армирование вермикулитобетонной матрицы

К недостаткам разработанных вермикулитобетонов можно отнести хрупкость, относительно небольшие пределы прочности при сжатии и изгибе. Дисперсное фибровое армирование вермикулитобетонной матрицы может способствовать устранению указанных выше недостатков. При исследовании вермикулитобетонов, армированных базальтовой фиброй, использовался ротатбельный план второго порядка типа правильного шестиугольника. Состав и строительно-технические свойства исходной вермикулитобетонной матрицы показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Состав и строительно-технические свойства исходной вермикулитобетонной матрицы

Соотношение компонентов в смеси, % по массе					Количество СДО в % от массы вяжущего	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
цемент	вермикулит	пепел	известь	гипс			на сжатие	на изгиб
19,6	38,1	21,9	19,6	0,8	0,1	570	2,8	1,4

В ходе исследований выявлено, что при проценте армирования по объему $\mu_v \approx 0,35 - 0,65\%$ и отношении длины волокон к их диаметру $l/d = 1444$, фибровермикулитобетон имеет максимальную прочность на сжатие, а на изгиб – при значениях $\mu_v \approx 0,6 - 0,85\%$ и $l/d = 1444$. Дальнейшее повышение процента фибрового армирования бетонной матрицы ведет к снижению прочности фибровермикулитобетона на сжатие и изгиб, что объясняется ухудшением их структуры. Фибровое армирование матрицы увеличивает предел прочности композита на изгиб от 55 до 75 %.

Заключение

Таким образом, выявлено, что зависимость «предел прочности на сжатие = f

(средняя плотность бетона)» существенно зависит от наличия и соотношения пемзы в составе вермикулитобетона, при этом повышение температуры выдерживания до 600°C или 800°C приводит к снижению предела прочности на сжатие от 15 до 25 %, причем основное снижение происходит при нагреве до 600°C, дальнейший рост температуры оказывает незначительное влияние. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие в целом сохраняется независимо от температуры нагрева, причем нагрев бетона не снижает относительный предел прочности при изгибе, т.е. соотношение «прочность при изгибе/прочность на сжатие» не снижается.

Библиографический список

1. Дубенецкий К.Н., Познин А.П. Вермикулит (свойства, технология и применение в строительстве). Л.: Стройиздат, 1971. 175 с.
2. Тихонов Ю.М. Аэрированные легкие и тепло-огнезащитные бетоны и растворы с применением вспученного вермикулита и перлита и изделия на их основе: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 40 с.
3. Хежев Т.А. Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона: дисс.... д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону, 2007. 304 с.
4. Хашукаев М.Н. Технология и свойства ячеистых фибробетонов на основе вулканических горных пород: дисс. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2002. 127 с.
5. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.

Referenses

1. Dubeneckij K.N., Pozhnin A.P. Vermikulit (svoystva, tekhnologiya i primenenie v stroi-tel'stve). L.: Strojizdat, 1971. 175 s.
2. Tihonov YU.M. Aerirovannye legkie i teplo-ognezashchitnye betony i rastvory s prime-neniem vspuchennogo vermikulita i perlita i izdeliya na ih osnove: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk. SPb.: SPbGASU, 2005. 40 s.
3. Hezhev T.A. Tekhnologiya armocementnyh konstrukcij vysokoj ognestojkosti s teplozashchit-nym sloem iz effektivnogo legkogo betona: diss. ... d-ra tekhn. nauk. Rostov-na-Donu, 2007. 304 s.
4. Hashukaev M.N. Tekhnologiya i svoystva yacheistyh fibrobetonov na osnove vulkanicheskikh gornyh porod: diss. ... kand. tekhn. nauk. SPb.: SPbGASU, 2002. 127 s.
5. Davidyuk A.N. Legkie konstrukcionno-teploizolyacionnye betony na steklovidnyh pori-styh zapolnitelyah. M.: Krasnaya zvezda, 2008. 208 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests.

Дата поступления в редакцию / Received 12.01.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 31.01.2022

Принята к публикации / Accepted 14.02.2022

© Т.А. Хежев, А.В. Журтов, 2022

Сведения об авторах

List of Authors

Хежев Толя Амирович – д-р технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного производства Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

Tolya Khezhev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov.

Журтов Артур Владимирович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры строительного производства Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

Artur Zhurtov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Construction Production, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov.

Ссылка для цитирования: Хежев Т.А., Журтов А.В. Исследование огнезащитных свойств вермикулитобетонов с добавкой вулканического пепла // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 1. С. 65 - 70. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-65-70.

For citation: Khezhev T.A., Zhurtov A.V. Study of the fire-retardant properties of vermiculite concretes with the addition of volcanic ash // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 1. P. 65 - 70. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-1-65-70.

Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовки.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

05.12.00 – Радиотехника и связь.

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

05.02.00 – Машиностроение и машиноведение

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

05.27.00 – Электроника.

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

05.22.00 – Транспорт.

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

25.00.00 – Науки о Земле.

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

05.23.00 – Строительство.

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

05.17.00 – Химическая технология.

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов. 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2022 № 1 (Том 3)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2022 № 1 (Vol. 3)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.
Компьютерная верстка – Алиева П.А.
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 09.04.2022 г. Дата выхода в свет 13.04.2022 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 78

Электронная версия журнала
«Научные исследования: итоги и перспективы»
размещена на сайте www.dstu.ru

Учредитель/редакция/издатель
Дагестанский государственный технический университет
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.
Тел. +7 (8722) 62 37 15
E-mail: naukajournal@mail.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

“ ф о р м а т ”