



ВЕСТНИК

Югорского государственного университета

Основан
в 2005 году

Основные материалы номера:

- Особенности формирования традиций и обычаев в преступной среде
- Использование ординалистского подхода при оценке функционирования региональной системы очистки загрязняющих атмосферных выбросов
- Расчет резонансных режимов в электрических сетях при наличии источников высших гармоник
- Исследование и разработка искусственной мышцы из нейлоновой лески для роботов на базе рычажных механизмов

1(68)
2023



ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЫПУСК 1 (68)/2023

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

г. Ханты-Мансийск
2023 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Лапшин Валерий Федорович – главный редактор, доктор юридических наук, доцент, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» – главный редактор, v_lapshin@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 559);

Шарова Полина Сергеевна – ответственный секретарь редакционной коллегии, заведующий единой редакцией научных журналов ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», p_sharova@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 421);

Самарина Ольга Владимировна – ответственный редактор по направлению 1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Осипов Дмитрий Сергеевич – ответственный редактор по направлению 2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки), доктор технических наук, профессор, руководитель политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Королев Максим Игоревич – ответственный редактор по направлению 2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки), кандидат технических наук, доцент, руководитель высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Розенко Станислав Васильевич – ответственный редактор по направлению 5.1 Право по специальности 5.1.4 Уголовно-правовые науки, кандидат юридических наук, руководитель высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки):

Вохминцев Владимир Владимирович – доктор технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Интеллектуальные информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» совместно с ФИЦ «Информатика и управление Российской академии наук Института системного анализа»;

Загребина Софья Александровна – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой «Математическое и компьютерное моделирование» ЮУрГУ, Челябинск;

Кожанов Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт математики имени С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук»;

Кутышкин Андрей Валентинович – доктор технических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Мельников Андрей Витальевич – доктор технических наук, профессор базовой кафедры ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» на базе АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий», директор АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

Полищук Юрий Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник центра дистанционного зондирования Земли АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

Попков Юрий Соломонович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук»;

Пятков Сергей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки):

Горюнов Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

Ковалев Владимир Захарович – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Новожилов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайтыгова (Казахстан);

Никитин Константин Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

Осипов Дмитрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Сидоров Олег Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование железнодорожного транспорта» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»;

Сычев Юрий Анатольевич – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и электромеханика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»;

Харламов Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения».

2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки):

Алымов Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Директор ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения (ИСМАН) РАН;

Баев Владимир Константинович – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук;

Гуляев Павел Юрьевич – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Еськов Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, начальник кафедры информационной безопасности ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации»;

Клименко Любовь Степановна – доктор химических наук, профессор высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Нехорошев Сергей Викторович – доктор технических наук, главный научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия»;

Пронин Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»;

Сахаров Юрий Владимирович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физической электроники ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

5.1 Право по специальности 5.1.4 Уголовно-правовые науки (юридические науки):

Авдеев Вадим Авдеевич – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Анисимов Валерий Филиппович – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Козаченко Иван Яковлевич – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»;

Кибальник Алексей Григорьевич – доктор юридических наук, профессор заведующий кафедрой уголовного права и процесса ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;

Понятовская Татьяна Григорьевна – доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

Рарог Алексей Иванович – доктор юридических наук, профессор научный руководитель кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный Юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

Сергеев Владимир Анатольевич – доктор юридических наук, профессор, директор Центра прикладного уголовного правосудия, профессор Школы правоохранения и управления юстицией Западного Иллинойского университета;

Шеслер Александр Викторович – доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права ФКОУ ВО «Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний», профессор кафедры уголовного права ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Сколковский институт науки и технологий»

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



ISSN 1816-9228 (печатная версия)

ISSN 2078-9114 (электронная версия)

Журнал издается с 2005 года

Журнал включен в РИНЦ

© ФГБОУ ВО «Югорский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

УГОЛОВНОЕ ПРАВО И КРИМИНОЛОГИЯ	7
--------------------------------------	---

Кемова Н. Н.

Квалифицирующие признаки в уголовном законодательстве Российской Федерации: современное состояние	9
--	---

Подройкина И. А.

Освобождение от уголовной ответственности в связи с возмещением ущерба (ст. 76 УК)	15
---	----

Ситникова А. И.

Проблемы квалификации убийства, совершённого групповыми способами (п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК)	23
---	----

Хохрин С. А.

Особенности формирования традиций и обычаев в преступной среде пенитенциарных учреждений	29
---	----

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	41
--	----

Алексеев В. И.

Исследование согласованности изменений вейвлетных фазовых характеристик гелиокосмических и климатических переменных и изменений составляющих мирового водного баланса. Часть 2	43
--	----

Еремин А. В., Зинина С. А., Олатуйи Олуванелуми Джонсон

Исследование теплопереноса в пористом материале на основе трижды периодических поверхностей минимальной энергии	60
--	----

Кутышкин А. В.

Использование ординалистского подхода при оценке функционирования региональной системы очистки загрязняющих атмосферных выбросов	67
--	----

Самарина О. В., Самарин В. А.

Определение инвариантных характеристик цифрового изображения и их вычисление в системе Matlab	77
--	----

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ	83
------------------------------------	----

Давыдов Э. А., Крымова В. Н., Хабибуллин Ф. Ф.

Исследование и разработка искусственной мышцы из нейлоновой лески для роботов на базе рычажных механизмов	85
--	----

Долматов А. В., Гуляев П. Ю.

Экспресс-диагностика свойств СВС-материалов с помощью
хроно-топографического анализа тепловизионных данных 95

Кузнецова И. Н., Громов С. А.

Технология и свойства модифицированной древесины
для малоэтажного строительства 104

Сошина Т. О., Мезенцева Д. С.

Влияние технологических параметров процесса импульсного магнетронного
распыления на структуру и фазовый состав покрытий на основе TiN..... 111

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА 121

Антонов А. И., Руди Д. Ю., Хацевский К. В.

Исследование качества электроэнергии в электрических сетях
с полупроводниковыми преобразователями 123

Васьковская А. В., Шепелев А. О., Шепелева Е. Ю.

Определение максимально допустимого перетока активной мощности
в сечении с учетом тепловых режимов линий электропередачи..... 131

Долгих Н. Н., Осипов Д. С., Парамзин А. О.

Идентификация однофазных замыканий на землю
в сетях 6-35 кВ на основе вейвлет-преобразования 139

Ощепков В. А., Логунова Я. Ю.

Расчет резонансных режимов в электрических сетях
при наличии источников высших гармоник 147

УГОЛОВНОЕ ПРАВО
И КРИМИНОЛОГИЯ

**КВАЛИФИЦИРУЮЩИЕ ПРИЗНАКИ
В УГОЛОВНОМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Кемова Наталья Николаевна

*соискатель,
Академия Федеральной службы исполнения наказаний России
Рязань, Россия
E-mail: natalyakoluntaeva@mail.ru*

Предмет исследования: особенности использования квалифицирующих признаков в уголовно-правовых нормах.

Цель исследования: определение универсальных требований к квалифицирующим признакам для их последующего применения в Особенной части УК РФ.

Методы и объекты исследования: методологическую основу составил диалектический метод научного познания. Также в процессе исследования использовались применяемые в гуманитарных науках частнонаучные методы познания. Например, при изложении материала, формулировании выводов и результатов исследования применялись методы формальной логики. При определении критериев отбора квалифицирующих признаков были использованы индуктивный, дедуктивный метод. Метод контент-анализа применялся при исследовании Особенной части УК РФ на предмет соответствия требованиям, предъявляемым к квалифицирующим признакам.

Результаты исследования: раскрыто содержание требований к юридически значимым признакам, которые свидетельствуют о существенном увеличении степени общественной опасности преступления, содержащего признаки основного состава, а потому используются как квалифицирующие признаки в нормах Особенной части УК РФ. Сформулированы предложения по совершенствованию норм действующего уголовного закона в части особенностей использования квалифицирующих признаков.

Ключевые слова: квалифицирующие признаки, общественная опасность деяния, дифференциация уголовной ответственности, унификация, оценочные понятия, законодательная техника.

**QUALIFYING SIGNS IN THE CRIMINAL LEGISLATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION: CURRENT STATE**

Natalia N. Kemova

*PHD student,
Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia
Ryazan, Russia
E-mail: natalyakoluntaeva@mail.ru*

Subject of research: features of the use of qualifying features in criminal law norms.

Purpose of research: to determine universal requirements for qualifying features for their subsequent application in a Special part of the Criminal Code of the Russian Federation.

Methods and objects of research: the methodological basis was the dialectical method of scientific cognition. Also, in the course of the research, private scientific methods of cognition used in the humanities were used. For example, when presenting the material, formulating conclusions and research results, methods of formal logic were used. In determining the criteria for the selection of qualifying features, an inductive, deductive method was used. The content analysis method was

used in the study of a Special part of the Criminal Code of the Russian Federation for compliance with the requirements for qualifying features.

Results of research: the content of the requirements for legally significant signs is disclosed, which indicate a significant increase in the degree of public danger of a crime containing signs of the main composition, and therefore are used as qualifying signs in the norms of the Special part of the Criminal Code of the Russian Federation. Proposals are formulated to improve the norms of the current criminal law in terms of the specifics of the use of qualifying features.

Keywords: qualifying signs, public danger of an act, differentiation of criminal responsibility, unification, evaluative concepts, legislative technique.

Введение

С развитием уголовного законодательства количество норм, закрепляющих признаки квалифицированного состава, ежегодно увеличивается. Это является следствием более детальной дифференциации уголовной ответственности, а также того, что законодатель считает данное средство наиболее эффективным, поскольку оно отражает увеличение степени общественной опасности, позволяет обосновать применение более строгих мер уголовной ответственности за конкретное преступление, включающее в себя признаки квалифицированного состава.

Однако прежде, чем закрепить в законе тот или иной квалифицирующий признак, необходимо его отобрать среди других, «претендующих» на такой статус [5, с. 466]. Данный процесс должен быть упорядоченным, то есть квалифицирующие признаки должны отвечать определенным требованиям для их законодательного закрепления, что исключит ошибки в оценке действительной общественной опасности деяния и вынесение несправедливых приговоров.

Действительно, проблема отбора квалифицирующих признаков в целях дальнейшего закрепления их в законе для теории уголовного права не нова [4, 5, 9, 12 и др.], хотя единодушия в ее решении среди исследователей не наблюдается. В связи с этим необходимо осуществить анализ теоретических исследований и уголовного законодательства с целью выявления требований, предъявляемых к квалифицирующим признакам, для их отбора и законодательного закрепления. Необходимо проанализировать действующий уголовный закон на предмет соответствия выявленным требованиям к квалифицирующим признакам, так как, в том числе от этого зависит надлежащая квалификация содеянного, а в конечном итоге и справедливость назначаемого наказания.

Результаты и обсуждение

В литературе отмечается, что основным критерием отбора квалифицирующих признаков выступает то обстоятельство, что установление их в процессе производства по уголовному делу значительно повышает общественную опасность совершенного деяния. На это в своих работах указывали А. И. Свинкин [13, с. 35–37], Э. Ф. Побегайло [11, с. 24–25], А. В. Васильевский [1, с. 100] и другие. Основанием для конструирования квалифицированного состава является значительная разница в уровне общественной опасности деяния в сравнении содеянным в основном составе преступления [5, с. 467; 12, с. 229].

Важнейшим показателем увеличения уровня общественной опасности деяния является повышение вероятности наступления вредных последствий [8, с. 102]. К такому признаку можно отнести участие двух или более лиц в совершении преступного деяния, к примеру, при совершении хулиганства (ч. 2 ст. 213 УК РФ). Во-первых, при совместном участии упрощается совершение хулиганства, а, во-вторых, вероятность наступления вредных последствий более высокая. Еще одним примером может служить применение оружия или предметов, используемых в качестве оружия, при совершении преступного деяния, что также неминуемо повышает степень вероятности наступления вредных последствий и отражено в ч. 2 ст. 213 УК РФ.

Помимо этого, в научных трудах указывается, что в качестве критерия отбора квалифицирующих признаков могут выступать и свойства личности виновного, а также свойства,

проявляющиеся в общественно опасном поведении [12, с. 231]. Однако необходимо, чтобы указанные свойства личности виновного проявлялись непосредственно в преступном деянии.

Доказательством тому служат уголовно-правовые нормы, которые закрепляют такого рода квалифицирующие признаки. Например, «совершенное спортивным судьей или организатором официального спортивного соревнования, а равно членом жюри или организатором зрелищного коммерческого конкурса» (ч. 4 ст. 184 УК РФ); «совершенное лицом, занимающим государственную должность Российской Федерации или государственную должность субъекта Российской Федерации, а равно главой органа местного самоуправления» (ч. 2 ст. 237 УК РФ); «совершенное арбитражным управляющим или председателем ликвидационной комиссии (ликвидатором), а равно контролирующим должника лицом либо руководителем этого контролирующего лица» (ч. 2 ст. 195 УК РФ); «совершенное родителем, педагогическим работником либо иным лицом, на которое законом возложены обязанности по воспитанию несовершеннолетнего» (ч. 2 ст. 150 УК РФ).

Кроме этого, в научной литературе упоминается о еще одном критерии отбора квалифицирующих признаков, однако различные авторы называют его по-разному: типичность [5, с. 467], распространенность [12, с. 232] и т. д. Указанный критерий подразумевает под собой то, что данная более опасная форма антиобщественного противоправного поведения должна быть распространена в реальности, а также – существование реальной угрозы стремительного распространения такого поведения в ситуации безучастности уголовного правосудия. То есть подобное поведение, являющееся опасным явлением, нуждается в противодействии, в том числе средствами уголовно-правовой охраны. При этом следует отметить, что распространенность необходимо учитывать для конкретного преступного деяния. Другими словами, квалифицирующий признак должен быть типичен для определенного вида преступного деяния. Так, квалифицирующий признак «мотив кровной мести» характерен для убийства, при этом не свойственен, к примеру, хулиганству. Уровень распространенности факта, претендующего на признание квалифицирующим признаком, выявляется с помощью анализа правоприменительной практики, а также криминологического анализа. При этом если выявляются единичные случаи проявления данного факта, то основания для его закрепления в законе в качестве квалифицирующего признака состава отсутствуют.

Таким образом, к критериям отбора квалифицирующих признаков следует отнести:

- существенное увеличение степени общественной опасности деяния в сравнении с отраженной в основном составе преступления;
- свойства личности виновного, не нашедшие выражения в признаках преступного деяния, наравне со свойствами, проявляющимися в общественно опасном поведении;
- распространенность при совершении преступлений определенного вида.

В современной юридической науке обозначены основные правила, относящиеся к форме изложения квалифицирующих признаков. Прежде всего, они должны содержаться только во второй и последующих частях статьи Особенной части УК РФ. В то же время это правило выполняется не всегда: в частях 2, 3 и далее отдельных норм Особенной части УК РФ содержатся признаки самостоятельных составов преступлений. Так, в трёх из шести частей ст. 171¹ УК РФ содержится описание признаков самостоятельных составов преступлений. В трех частях ст. 142 УК РФ содержится три самостоятельных состава преступления. Похожая картина наблюдается в ст. 157 УК РФ, в которой обе части содержат самостоятельный состав преступления. То есть, в некоторых случаях законодатель использует вторые и последующие части статей не по назначению, что, в конечном счете, приводит к отсутствию унифицированного подхода к формулированию уголовно-правовых предписаний.

Если же в статье содержится более одного квалифицирующего признака, то должна использоваться буквенная индексация. Однако законодатель стал использовать буквенное обозначение и в ч. 1 при описании некоторых признаков основного состава, что также следует рассматривать в качестве недостатка технического оформления нормы Особенной части УК. Например, указанный прием использован в ч. 1 ст. 213 УК РФ.

Так как квалифицирующие признаки выступают неким дополнением к признакам основного состава преступного деяния, то часть статьи, в которой они содержатся, необходимо начинать словами «те же действия», «деяние, предусмотренное предыдущими частями» и т. д. В случае если название преступления состоит из одного слова, допускается описать квалифицированный состав путем воспроизведения сначала наименования основного состава, а затем указания на сам квалифицирующий признак. Это позволяет избежать перечисления всех признаков основного состава преступления, а также такая формулировка логична и легка для понимания.

То есть к правилам, касающимся формы изложения квалифицирующих признаков, относятся:

- место их описания: вторая и последующая части статьи Особенной части УК РФ;
- буквенная индексация при условии включения двух и более квалифицирующих признаков;
- часть статьи, в которой происходит перечисление признаков квалифицированного состава преступления, должна начинаться словами «те же действия», «деяние, предусмотренное предыдущими частями» и т. д.

Сведение к минимуму количества оценочных понятий является одним из приемов унификации. Оценочными понятиями признаются понятия, незакрепленные законодательно, в связи с чем могут различно толковаться на практике. То есть существование оценочных признаков способно несколько изменять границы преступных деяний в зависимости от уровня правосознания лица, являющегося властным субъектом уголовно-процессуальной деятельности. Однако предписаниям уголовного закона надлежит быть точными и недвусмысленными, что предполагает использование законодателем криминализирующих признаков, имеющих оценочный характер, в крайне редких случаях.

В. Н. Кудрявцев обращал внимание, что существование оценочных понятий в законе неизбежно [7, с. 118]. Полное отсутствие оценочных признаков в уголовном законе может привести к тому, что он утратит способность реагировать на огромное количество жизненных ситуаций, лишит его гибкости. При всем при этом оценочные понятия не должны входить в число признаков основного состава преступления, как это наблюдается, например в ст. 213 УК РФ: «грубое нарушение», «явное неуважение». Корректнее их включать в содержание квалифицирующих признаков, но при этом следует стремиться максимально нейтрализовать их негативные качества с помощью разъяснения терминов, приведения этих понятий к единой терминологии. Это позволит внести определенность и ясность в содержание оценочных понятий, что впоследствии, поможет в подавляющем большинстве случаев избежать противоречий в правоприменительной практике [12, с. 238].

При этом стоит заметить, что указанная проблема актуальна и для законодательства зарубежных стран. Исследователи в этой части отмечают следующее:

- сравнительно частое использование оценочных дефиниций при их конструировании («особо бессовестно» и др.), в странах ближнего зарубежья выявлена достаточно явная тенденция к унификации квалифицирующих признаков [3, с. 87];
- относительную немногочисленность квалифицирующих признаков [2, с. 24].

В то же время некоторые зарубежные уголовные законы закрепляют в положениях Общей части определения категорий, которые используются при конструировании составов преступлений, то есть в нормах Особенной части. Такое решение, думается, хотя и не решает полностью обозначенную проблему, но существенно упрощает процесс толкования в ходе квалификации.

Говоря о роли квалифицирующих признаков, отводимой в современном российском уголовном законодательстве, прежде всего, необходимо обратить внимание, что квалифицирующие признаки являются одним из главных средств современной дифференциации уголовной ответственности. Данное умозаключение подтверждается проведенными исследованиями:

- Л. Л. Кругликов по состоянию на 1 мая 2007 г. в статьях Особенной части УК РФ насчитал 130 видов квалифицирующих признаков, встречающихся 578 раз [6, с. 425–431];
- Е. В. Рогова по состоянию на 1 июля 2013 г. выделила 141 вид этих признаков, которые встречаются 701 раз [12, с. 211];

- по состоянию на 2 апреля 2022 г. нами было насчитано уже 175 видов квалифицирующих признаков, упоминающихся 878 раз.

Как можно заметить, их количество существенно возросло. Причем наблюдается не только увеличение видов квалифицирующих признаков, но и общего числа норм, включающие признаки квалифицированных составов.

Однако при анализе Особенной части УК РФ были выявлены некоторые противоречия, касающиеся конструирования и закрепления квалифицирующих признаков:

- 1) используется различная терминология для обозначения аналогичных квалифицирующих признаков. Например, квалифицирующий признак «в отношении несовершеннолетнего» (ч. 2 ст. 110, ч. 2 ст. 121 УК РФ и др.) и «в отношении заведомо несовершеннолетнего» (ч. 2 ст. 126, ч. 2 ст. 206 УК РФ и др.);
- 2) одноименный квалифицирующий признак в статьях одной главы может встречаться в разных частях, что дезориентирует правоприменителя в части истинной типовой степени общественной опасности, которой обладает деяние, содержащее в себе признаки соответствующего квалифицированного состава преступления. К примеру, квалифицирующий признак «с использованием своего служебного положения» в главе 24 УК РФ встречается 5 раз во вторых частях статей (ч. 2 ст. 205¹, п. «а» ч. 2 ст. 207³, п. «в» ч. 2 ст. 215², п. «в» ч. 2 ст. 221, п. «а» ч. 2 ст. 226¹ УК РФ), 6 раз в третьих частях статей (ч. 3 ст. 209, ч. 3 ст. 210, п. «б» ч. 3 ст. 222, п. «б» ч. 3 ст. 222¹, п. «б» ч. 3 ст. 222², п. «в» ч. 3 ст. 226 УК РФ), 3 раза в пятых частях статей (п. «б» ч. 5 ст. 222, п. «б» ч. 5 ст. 222¹, п. «б» ч. 5 ст. 222² УК РФ);
- 3) в отдельных уголовно-правовых нормах Особенной части УК РФ квалифицирующие признаки совершения преступного деяния «группой лиц, группой лиц по предварительному сговору или организованной группой» (п. «б» ч. 2 ст. 207³, ч. 2 ст. 213 УК РФ и др.) предусмотрены одной и той же частью статьи. Однако очевидно, что указанные признаки отличаются друг от друга степенью общественной опасности, на что обращалось внимание и другими исследователями в своих работах [10, с. 85; 12, с. 213]. В пользу этого свидетельствует также и содержание ст. 35 УК РФ, в которой их признаки излагаются в разных частях;
- 4) некоторая разрозненность присутствует при использовании такого квалифицирующего признака как «с применением насилия, опасного для жизни или здоровья, либо с угрозой применения такого насилия». Проявляется это в том, что в некоторых нормах (п. «в» ч. 2 ст. 211, п. «б» ч. 3 ст. 221 УК РФ и т.д.) квалифицирующий признак изложен именно как «с применением насилия, опасного для жизни или здоровья, либо с угрозой применения такого насилия», а в части норм (п. «в» ч. 2 ст. 127, п. «в» ч. 2 ст. 206 УК РФ и т.д.) – как «с применением насилия, опасного для жизни или здоровья». Как видно, в последнем случае угроза применения насилия уже отсутствует, хотя «угроза» представляет явно меньшую степень общественной опасности, а потому вряд ли может отождествляться с «реальным причинением» физического вреда при применении насилия к потерпевшему.

Заключение и выводы

На основании вышеизложенного считаем возможным прийти к выводу о том, что основным средством дифференциации уголовной ответственности в Особенной части УК РФ продолжают оставаться квалифицирующие признаки. Важность квалифицирующих признаков для дифференциации ответственности и обеспечения справедливости принятого решения по уголовному делу диктует необходимость соблюдения ряда формальных правил их применения в нормах Особенной части УК РФ. Таковыми правилами являются:

- место описания (фиксации): вторая и последующая части статьи Особенной части УК РФ;
- буквенная индексация при условии включения двух и более квалифицирующих признаков;
- часть статьи, в которой происходит перечисление признаков квалифицированного состава преступления, должна начинаться словами «те же действия», «деяние, предусмотренное предыдущими частями» и т. д.

Современный российский уголовный закон учитывает не все требования, предъявляемые к квалифицирующим признакам, что создает условия для несоразмерности уголовно-правового воздействия и нарушения принципа справедливости.

Литература

1. Васильевский, А. В. Юридическая техника закрепления в уголовном законе дифференцирующих уголовную ответственность обстоятельств / А. В. Васильевский. – Текст : непосредственный // Нормотворческая и правоприменительная техника в уголовном и уголовно-процессуальном праве. Сборник научных статей. – Ярославль: Изд-во Яросл. ун-та, 2000. – С. 99–107.
2. Гостькова, Д. Ж. Квалифицирующие признаки, относящиеся к субъективной стороне составов преступлений против жизни и здоровья: вопросы теории и практики (по материалам Уральского федерального округа): диссертация на соискание ученой степени кандидата юридических наук / Д. Ж. Гостькова. – Челябинск, 2018. – 210 с. – Текст : непосредственный.
3. Донец, С. П. Некоторые вопросы сравнительного анализа института дифференциации уголовной ответственности в зарубежном и отечественном уголовном законодательстве / С. П. Донец. – Текст : непосредственный // Пенитенциарная наука. – 2013. – № 4 (24). – С. 83–88.
4. Закомолдин, Р. В. Критерии выбора обстоятельств, используемых в качестве квалифицирующих преступление признаков / Р. В. Закомолдин, С. В. Кондратюк. – Текст : непосредственный // Гуманитарные Балканские исследования. – 2019. – № 3 (5). – С. 116–120.
5. Кругликов, Л. Л. Понятие преступлений с квалифицированными составами и правила конструирования последних / Л. Л. Кругликов. – Текст : непосредственный // Проблемы теории уголовного права: Избранные статьи, 2000–2009 гг. – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – С. 441–487.
6. Кругликов, Л. Л. Таблица квалифицирующих признаков и частоты их упоминания в УК РФ (по состоянию на 1 мая 2007 г.) / Л. Л. Кругликов. – Текст : непосредственный // Проблемы теории уголовного права: Избранные статьи, 2000–2009 гг. – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – С. 425–431.
7. Кудрявцев, В. Н. Общая теория квалификации преступлений / В. Н. Кудрявцев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Юристъ, 1999. – 301 с. – ISBN 5-7975-0170-8. – Текст : непосредственный.
8. Кудрявцев, В. Н. Объективная сторона преступления / В. Н. Кудрявцев. – М. : Госюриздат, 1960. – 244 с. – Текст : непосредственный.
9. Лесниевски-Костарева, Т. А. Дифференциация уголовной ответственности. Теория и законодательная практика / Т. А. Лесниевски-Костарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : НОРМА, 2000. – 400 с. – Текст : непосредственный.
10. Налимов, Ю. Д. Вандализм: дифференциация уголовной ответственности и квалификация : дисс. ... канд. юр. наук / Ю. Д. Налимов. – М., 2022. – 188 с. – Текст : непосредственный.
11. Побегайло, Э. Ф. Проблемы дифференциации уголовной ответственности за тяжкие насильственные преступления / Э. Ф. Побегайло. – Текст : непосредственный // Совершенствование правовых мер борьбы с преступностью. Межвузовский тематический сборник. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1986. – С. 24–30.
12. Рогова, Е. В. Учение о дифференциации уголовной ответственности : диссертация на соискание ученой степени доктора юридических наук / Е. В. Рогова. – М., 2014. – 596 с. – Текст : непосредственный.
13. Свинкин, А. И. Оптимальное конструирование квалифицированных составов по признакам повторности и рецидива / А. И. Свинкин. – Текст : непосредственный // Проблемы эффективности уголовного закона / Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Свердловский юридический институт; Ред. кол. : М. И. Ковалев и др. ; Отв. За вып. В. М. Семенов. – Свердловск : Изд-во Свердл. юрид.ин-та, 1975. – С. 35–37.

**ОСВОБОЖДЕНИЕ ОТ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
В СВЯЗИ С ВОЗМЕЩЕНИЕМ УЩЕРБА (СТ. 76¹ УК)**

Подройкина Инна Андреевна

доктор юридических наук, доцент,
заведующий кафедрой уголовно-правовых дисциплин
Юридического факультета Ростовского филиала
ГКОУ ВО «Российская таможенная академия»
Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: 919820@mail.ru

Предмет исследования: нормы российского уголовного законодательства, регламентирующие освобождение от уголовной ответственности в связи с возмещением ущерба, материалы судебной практики, работы специалистов, посвященные теме исследования.

Цель исследования: выработка научно обоснованных предложений по совершенствованию уголовного закона в части определения видов освобождения от уголовной ответственности.

Методы и объекты исследования: в основу исследования положены диалектический метод познания, формально-юридический метод, а также методы анализа, синтеза, индукции и дедукции. Объектом исследования выступают общественные отношения, возникающие в связи с освобождением от уголовной ответственности на основании ст. 76¹ УК.

Основные результаты исследования: автор приходит к выводу, что ст. 76¹ УК построена с нарушением правил законодательной техники, не обладает признаком системности и каждая ее часть (включая название) требует серьезных корректив, что ставит под сомнение сам факт ее существования; предлагает исключить ее из уголовного закона, что снимет ряд разногласий в теории уголовного права, стабилизирует УК с точки зрения системности, исключив избыточность правового регулирования.

Ключевые слова: освобождение от уголовной ответственности, возмещение ущерба, налоговые преступления, экономические преступления, правила законодательной техники, избыточность правового регулирования.

**EXEMPTION FROM CRIMINAL LIABILITY IN CONNECTION WITH
COMPENSATION FOR DAMAGE (ARTICLE 76¹ OF THE CRIMINAL CODE)**

Inna A. Podroykina

Doctor of Law Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Criminal Law Disciplines,
Faculty of Law,
Rostov branch of the Russian Customs Academy
Rostov-on-Don, Russia
E-mail: 919820@mail.ru

Subject of research: the norms of Russian criminal legislation regulating exemption from criminal liability in connection with compensation for damages, materials of judicial practice, the work of specialists devoted to the topic of the study.

Purpose of research: to develop scientifically sound proposals for improving the criminal law in terms of determining the types of exemption from criminal liability.

Methods and objects of research: the research is based on the dialectical method of cognition, the formal legal method, as well as methods of analysis, synthesis, induction and deduction. The

object of the study is social relations arising in connection with the exemption from criminal liability on the basis of Article 761 of the Criminal Code.

Main results of research: author comes to the conclusion that Article 761 of the Criminal Code is built in violation of the rules of legislative technique, does not have a sign of consistency and each part of it (including the name) requires serious adjustments, which calls into question the very fact of its existence, proposes to exclude it from the criminal law, which will remove a number of disagreements in the theory of criminal law, which will remove a number of disagreements in the theory of criminal law, stabilizes the Criminal Code from the point of view of consistency, eliminating the rauncancy of legal regulation.

Keywords: exemption from criminal liability, compensation for damages, tax crimes, economic crimes, rules of legislative technique, redundancy of legal regulation.

Введение

Освобождение от уголовной ответственности по делам о преступлениях в сфере экономической деятельности было введено значительно позднее, чем принят уголовный закон – в декабре 2011 года [14]. Включение ст. 76¹ в УК РФ было связано со стремлением законодателя снизить репрессивную составляющую уголовного закона в отношении лиц, совершающих преступления в сфере экономической деятельности. Именно поэтому и статья в своей исходной редакции предполагала возможность освобождения от уголовной ответственности только в случае совершения одного из экономических преступлений, исчерпывающий перечень которых давался непосредственно в ней. Однако условия, установленные в ст. 76¹ УК изначально, в части объемов возмещаемого ущерба привели к тому, что данная норма пополнила число так называемых «мертворожденных», что привело к ряду корректировок анализируемой статьи со стороны законодателя. Так, сначала в 2015 году она дополнилась ч. 3, затем в 2016 году в ч. 2 был снижен размер «компенсации» государству с пятикратного до двухкратного, в 2018 году сфера действия анализируемой нормы была расширена посредством изменения названия статьи (теперь освобождение в связи с возмещением ущерба) и дополнения ее части второй рядом иных преступлений, не относящихся к числу экономических. В период с 2011 по 2022 год число статей Особенной части УК, по которым возможно освобождение от ответственности на основании ст. 76¹ УК, выросло почти вдвое. Однако, несмотря на все попытки законодателя сделать анализируемую статью работоспособной, они не привели к успеху. В связи с этим целью исследования является разработка рекомендаций, направленных на дальнейшее совершенствование уголовного законодательства в части определения возможных видов освобождения от уголовной ответственности. Для реализации данной цели предполагается решение следующих задач: изучение условий освобождения от уголовной ответственности на основании ст. 76¹ УК, анализ существующих точек зрения относительно качества положений, закрепленных в ст. 76¹ УК, оценка востребованности закрепленных в данной статье видов освобождения от уголовной ответственности со стороны судебной практики, формулирование авторского видения решения проблемы, связанной с неэффективностью ст. 76¹ УК.

Результаты и обсуждение

Изучение содержания ст. 76¹ УК позволяет сделать вывод о том, что в данной статье в разных частях содержатся отличающиеся друг от друга условия освобождения от уголовной ответственности. Так, в ч. 1 ст. 76¹ УК описываются следующие:

- 1) совершение преступления, относимого в теории уголовного права к числу налоговых, предусмотренного ст.ст. 198–199¹, 199³, 199⁴ УК;
- 2) совершение преступления впервые;

3) возмещение ущерба, причиненного бюджетной системе РФ в результате совершения преступления, в полном объеме.

Понятие «впервые совершенное преступление» применительно к ст. 76¹ УК в целом несколько отличается от того, которое дается, например, для применения ст. 75 УК. По сравнению с теми рекомендациями, которые дал Верховный Суд РФ в абз. 1 п. 2 постановления № 19 от 27.06.2013 «О применении судами законодательства, регламентирующего основания и порядок освобождения от уголовной ответственности», для анализируемой статьи оно толкуется более широко. В частности, в абз. 2 п. 2 названного акта указывается: «что для целей статьи 76¹ УК лицо признается впервые совершившим преступление, если оно не имеет неснятую или непогашенную судимость за преступление, предусмотренное той же статьей, от ответственности по которой оно освобождается» [12]. Соответственно, наличие судимости за любое иное (отличное от того, за которое предполагается освобождение от ответственности на основании ст. 76¹ УК) не препятствует признанию преступления впервые совершенным.

Еще одно условие освобождения – возмещение ущерба, причиненного бюджетной системе Российской Федерации в результате преступления, в полном объеме. Относительно него Пленум ВС РФ дает следующие разъяснения: «Исходя из взаимосвязанных положений ч. 1 ст. 76¹, п. 2 примечаний к ст. 198, п. 2 примечаний к ст. 199 УК РФ и ч. 2 ст. 28.1 УПК РФ, под возмещением ущерба, причиненного бюджетной системе Российской Федерации в результате преступления, предусмотренного статьями 198–199¹ УК РФ, следует понимать уплату в полном объеме до назначения судом первой инстанции судебного заседания недоимки, пеней и штрафов в размере, определяемом в соответствии с законодательством Российской Федерации о налогах и сборах с учетом представленного налоговым органом расчета размера пеней и штрафов» (п. 14 постановления № 19). Аналогичные рекомендации даны и в п. 12 постановления Пленума Верховного Суда РФ от 15.11.2016 № 48 «О практике применения судами законодательства, регламентирующего особенности уголовной ответственности за преступления в сфере предпринимательской и иной экономической деятельности» [11].

Следует заметить, что не все теоретики согласны с таким пониманием возмещения ущерба. Так, например, критически оценивая подобную трактовку, Е. В. Благов замечает, что «ущербом как таковым является лишь недоимка, она действительно причиняется в результате совершения преступления, в то время как пени и штрафы являются ее следствием и относятся к налоговым санкциям» [2].

Важное значение для освобождения от уголовной ответственности по ч. 1 ст. 76¹ УК имеет момент возмещения вреда – оно (возмещение вреда) должно состояться до назначения судом первой инстанции судебного заседания. В иных случаях факт подобного возмещения на основании п. «к» ч. 1 ст. 61 УК должен быть признан обстоятельством, смягчающим наказание. Думается, что и в случаях частичного возмещения ущерба это обстоятельство должно подлежать учету как смягчающее наказание.

«Для целей применения ч. 1 ст. 76¹ УК полное возмещение ущерба, причиненного бюджетной системе Российской Федерации, может быть подтверждено документами, удостоверяющими факт перечисления в бюджетную систему Российской Федерации начисленных сумм в счет задолженности налогоплательщика – организации или физического лица (например, платежным поручением или квитанцией с отметкой банка). При этом суд не лишен возможности проверить указанный факт» (абз. 3 п. 14 постановления № 19).

Как отмечает Пленум ВС РФ в п. 3 постановления № 19: «Возмещение ущерба и (или) заглаживание вреда могут быть произведены не только лицом, совершившим преступление, но и по его просьбе (с его согласия) другими лицами. В случае совершения преступлений, предусмотренных ст. 199 и 199¹ УК РФ, возмещение ущерба допускается и организацией, уклонение от уплаты налогов и (или) сборов с которой вменяется лицу (примечание 2 к ст. 199 УК РФ).

Обещания, а также различного рода обязательства лица, совершившего преступление, заглаживать вред в будущем вне зависимости от наличия у него объективной возможности для

их выполнения не являются обстоятельствами, дающими основание для освобождения этого лица от уголовной ответственности».

Оценивая в целом положения ч. 1 ст. 761 УК, авторы обращают внимание на ряд проблемных моментов. Во-первых, значительная часть ученых справедливо отмечает, что освобождение от уголовной ответственности, предусмотренное ч. 1 ст. 761 УК, практически дублирует специальные виды освобождения от уголовной ответственности, предусмотренные в примечаниях к ст.ст. 198, 199, 199.1, 199.3 УК [1] [7] [8]. Причем, несмотря на некоторые различия в используемых формулировках, в частности, при определении ущерба, подлежащего возмещению, благодаря соответствующим разъяснениям Пленума ВС РФ, их содержание было уточнено и сегодня возмещение ущерба предполагает полную уплату соответствующей недоимки, а также пеней и штрафов. Зачем нужен такой дублиаж, остается неясным. И здесь мы не можем не согласиться с позицией Н. Г. Иванова: «Дублирование в Кодексе нормативных императивов, во-первых, нарушает принципы законодательной техники, требующие максимальной лапидарности при максимальной же понятности правовой нормы, и, во-вторых, загружает Кодекс ненужными артефактами, не имеющими функционального предназначения, но переполняющими Кодекс, отчего он становится «тяжелым» в правоприменении» [7]. Что касается судебной практики, то исследователями [1] отмечается, что суды охотнее освобождают от ответственности на основании ч. 1 ст. 761 УК, что также ставит под сомнение наличие такого количества норм, регулирующих по сути идентичные случаи и имеющих сходное содержание.

Вторая проблема, которая поднимается в теории уголовного права, – это проблема избирательного подхода законодателя при выделении круга преступлений, закрепленных в ч. 1 ст. 761 УК. Напомним, что изначально анализируемая статья в части второй предполагала возможность освобождения от уголовной ответственности только при совершении отдельных деяний, отнесенных законодателем к числу преступлений в сфере экономической деятельности. Да и в современной редакции статьи об ответственности за экономические преступления составляют большую часть из определенных в ч. 2 ст. 761 УК. Соответственно, первый вопрос, который задают исследователи, – почему из всего круга экономических преступлений именно налоговые преступления выделены в отдельную группу и для них установлены более «льготные» условия освобождения от уголовной ответственности? В частности, в отличие от условий, описанных в ч. 2 ст. 761 УК, достаточно возмещения ущерба в полном объеме, и никаких компенсаций в кратном размере в бюджет государства уплачено быть не должно. Вторым вопросом – почему в круг налоговых преступлений не включена ст. 199.2 УК? Так, например, В. В. Власенко в одной из своих работ, доказывая, что ст. 199.2 имеет существенные сходства с налоговыми преступлениями, приходит к выводу о том, что «присутствие ст. 199.2 УК именно в ч. 2 ст. 761 УК выглядит нелогично при всей юридической и экономической схожести с нормами о налоговых преступлениях, перечисленных в ч. 1 ст. 761 УК» [4]. Аналогичной точки зрения придерживается и О.В. Макарова [8]. Действительно какой-то системности при выборе статей из УК и размещении их в ст. 761 УК не наблюдается, свою позицию по этому поводу выскажем ниже.

Освобождение от уголовной ответственности на основании ч. 2 ст. 761 УК РФ предполагает наличие следующих условий:

- а) совершение одного из преступлений, указанных в ч. 2 ст. 761 УК. К их числу относятся деяния, запрещенные: ч. 1 ст. 146, ч. 1 ст. 147, ч.ч. 1-5 ст. 159, ч. 1 ст. 159.1, ч. 1 ст. 159.2, ч. 1 ст. 159.3, ч. 1 ст. 159.5, ч. 1 ст. 159.6, ч. 1 ст. 160, ч. 1 ст. 165, ст. 170.2, ч. 1 ст. 171, ч. 1 и ч. 1.1 ст. 171.1, ст. 171.5, ч. 1 ст. 172, ст.ст. 176, 177, ч. 1 ст. 178, ч.ч. 1-3 ст. 180, ч. 1 и ч. 2 ст. 185, ст. 185.1, ч. 1 ст. 185.2, ч. 1 ст. 185.3, ч. 1 ст. 185.4, ч. 1 ст. 185.6, ч. 2 и ч. 4 ст. 191, ст. 192, ч. 1 ст. 193, ч.ч. 1, 2 ст. 194, ст.ст. 195-197, ст. 199.2 УК;
- б) деяние должно быть совершено впервые;
- в) необходимо возместить ущерб, причиненный в результате совершения преступления, либо перечислить в федеральный бюджет доход, полученный в результате совершения

преступления, либо денежную сумму, эквивалентную размеру убытков, которых удалось избежать, либо денежную сумму, эквивалентную размеру совершенного деяния, предусмотренного соответствующей статьей Особенной части УК;

- г) следует перечислить в федеральный бюджет денежное возмещение в двукратном размере названных в предыдущем пункте сумм.

Как отмечает Пленум ВС РС: «Для освобождения от уголовной ответственности за преступления, указанные в ч. 2 ст. 76¹ УК, возмещение ущерба, причиненного в результате совершения преступления гражданину, организации или государству, а также перечисление в федеральный бюджет дохода и денежных возмещений должны быть произведены в полном объеме.

С учетом того, что ч. 3 ст. 28.1 УПК РФ не содержит требования о возмещении ущерба до назначения судебного заседания, уголовное преследование в случаях, предусмотренных ч. 2 ст. 76¹ УК, подлежит прекращению судом, если все предусмотренные данной нормой условия (возмещен ущерб и произведены денежные перечисления в федеральный бюджет) выполнены в полном объеме до удаления суда в совещательную комнату.

Размер ущерба, подлежащего возмещению, определяется на основании гражданско-правовых договоров, первичных учетных документов, выписок (справок) по расчетным счетам, информации по сделкам с использованием электронных средств платежа и т. п. При необходимости для определения размера ущерба, подлежащего возмещению, может быть назначена судебная экспертиза.

Под доходом для целей денежного возмещения признается общая сумма незаконного обогащения, полученная в результате совершения преступления (без вычета произведенных расходов), в денежной (наличные, безналичные и электронные денежные средства в рублях и (или) в иностранной валюте) и (или) натуральной форме (движимое и недвижимое имущество, имущественные права, документарные и бездокументарные ценные бумаги и др.)» (п. 15 постановления № 19).

Говоря об особенностях данного вида освобождения от уголовной ответственности, следует отметить тот факт, что оно распространяется на достаточно широкий круг деяний. Всего в ч. 2 ст. 76¹ перечислено 30 статей Особенной части УК, из них две статьи из главы 19 «Преступления против конституционных прав и свобод человека и гражданина», 7 – из главы 21 «Преступления против собственности» и остальные 21 – из главы 22 «Преступления в сфере экономической деятельности». В 30 статьях описывается 50 составов преступлений, при этом их категоризация распределялась следующим образом: на первом месте стоят преступления небольшой тяжести (27 составов); на втором – средней тяжести (17 составов); на третьем – тяжкие (6 составов). Оценивая круг преступлений, по которым допускается освобождение от уголовной ответственности, определить по каким принципам они отбирались весьма сложно. Так как в них вошли три категории преступлений из 4-х возможных, то можно сказать, что не категория преступления лежала в основе выборки. Изначально исследуемая статья принималась в рамках реализации политики гуманизации уголовного законодательства с целью защиты бизнеса от излишней уголовной репрессии. Дополнив ч. 2 ст. 76¹ УК составами из иных глав, законодатель расширил сферу действия анализируемой нормы, поэтому сказать, что объект посягательства лежит в основе определения круга преступлений в ч. 2 мы также не можем. Не выдерживает критики и такой классификационный критерий, как принадлежность к основному составу. Как видно из перечня, в каких-то случаях под действие ч. 2 ст. 76¹ УК подпадает вся статья, в каких-то – только ее первые части, в каких-то, напротив, первые части не входят (например, ч. 2 и ч. 4 ст. 191 УК). Пытаясь понять логику законодателя, мы проанализировали все составы с целью выяснить, что же их объединяет, однако какого-то единого критерия так и не обнаружили. Особенно удивляет тот факт (наряду с наличием общественно опасных деяний, отнесенных к категории тяжких), что в данный перечень вошли и некоторые статьи об экономических преступлениях, которые имеют собственные примечания с описанием условий освобождения от уголовной ответственности (например, ст. 178, 195 УК). При этом, в отличие от налоговых преступлений, когда ч. 1 ст. 76¹ УК практически дословно воспроизводит условия специальных видов освобождения, предусмотренных в примечаниях к статьям 198–199¹, 1993, 1994 УК, применительно к названным статьям такого единства не наблюдается. Напротив, условия освобождения разнятся как в части требований к поведению преступника после совершения преступления

(например, в примечании 3 к ст. 178 УК указано, что лицо должно первым из числа соучастников преступления добровольно сообщить о преступлении и активно способствовать его раскрытию и (или) расследованию), так и в части объема средств, подлежащих выплате в пользу государства (так, если в ч. 2 ст. 76¹ УК фактически речь идет о трехкратном возмещении ущерба, дохода и т.д., то в примечаниях к названным статьям – однократном). На отсутствие системности при определении круга преступлений, предусмотренных ч. 2 ст. 76¹ УК, обращают внимание и некоторые другие авторы [4, 8]. На проблему сочетания при использовании ст. 76¹ УК и примечаний к статьям Особенной части УК также указывал в одной из своих работ Н. Г. Иванов [7].

В п. 15.1 постановления Пленума ВС РФ № 19 указывается: «В случаях выполнения не всех или не в полном объеме действий, предусмотренных ст. 76¹ УК, лицом, совершившим преступление небольшой или средней тяжести в сфере предпринимательской и иной экономической деятельности, его ходатайство о прекращении уголовного преследования по основаниям, предусмотренным ст.ст. 75, 76 или 76² УК, может быть удовлетворено судом при условии выполнения содержащихся в указанных нормах требований».

В целом, можно сказать, что «принципиальные различия двух рассмотренных видов освобождения от уголовной ответственности касаются круга преступлений, за совершение которых возможно их применение, размера и порядка исчисления определенных возмещений, уровня бюджета, в адрес которого направляются все виды денежных возмещений, а также процессуального условия – этапа процессуальной деятельности, до окончания которого возможно принятие решения об освобождении» [10].

Освобождение на основании ч. 3 ст. 76¹ УК возможно при следующих условиях:

- 1) выявление факта совершения определенного в законе общественно опасного деяния до 1 января 2015 года либо до 1 января 2022 года лицом, которое является декларантом или лицом, информация о котором содержится в соответствующей специальной декларации, поданной в соответствии с Федеральным законом «О добровольном декларировании физическими лицами активов и счетов (вкладов) в банках и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
- 2) совершение деяний, содержащих признаки составов преступлений, предусмотренных ст. 193, ч.ч. 1 и 2 ст. 194, ст.ст. 198, 199, 199¹, 199² УК;
- 3) совершенные преступления должны быть связаны с приобретением (формированием источников приобретения), использованием либо распоряжением имуществом и (или) контролируруемыми иностранными компаниями, информация о которых содержится в соответствующей специальной декларации, и (или) с открытием и (или) зачислением денежных средств на счета (вклады), информация о которых содержится в соответствующей специальной декларации.

При этом законодатель особо подчеркивает, что при таком освобождении не применяются положения ч. 1 и ч. 2 ст. 76¹ УК в части возмещения ущерба, перечисления в федеральный бюджет денежного возмещения и полученного дохода.

Процессуальный порядок освобождения от уголовной ответственности в связи с возмещением ущерба в соответствии со ст. 76¹ УК регламентирован в ст. 28.1 УПК. Освобождение от уголовной ответственности на основании ст. 76¹ УК имеет императивный и безусловный характер.

Стоит обратить внимание на тот факт, что наряду с уже поднятыми проблемами, в теории уголовного права отмечается еще ряд недостатков анализируемой статьи, которые, по мнению авторов, должны быть устранены. Так, в частности, В. В. Власенко указывает на то, что даже название ст. 76¹ УК не соответствует ее сущности и содержанию, так как, во-первых, наравне с возмещением ущерба потерпевшим, имеются и другие альтернативные условия освобождения от уголовной ответственности на основании ч. 2 ст. 76¹ УК, а в ч. 3 ст. 76¹ УК возмещение ущерба вообще не является условием такого освобождения [3]. О. В. Макарова отстаивает позицию о необходимости установления запрета на повторное освобождение лица от уголовной ответственности по ст. 76¹ УК на протяжении определенного срока [8] (однако, полагаем, эта проблема должна решаться более комплексно и запрет должен распространяться не только на одну ст.

76¹ УК, а на все статьи главы 11 УК, о чем мы писали ранее в одной из своих работ [6]). В. В. Власенко в более ранней своей работе поднимает также проблему излишне широкого круга лиц, которые могут возместить ущерб вместо виновного, а также полагает, что в числе условий освобождения от уголовной ответственности должно быть установлено способствование расследованию преступлений [5]. В. В. Наумов, А. В. Щепотьев обращают внимание на несовершенство ч. 3 ст. 76¹, и что наряду с указанием на неприменение ч. 1 и ч. 2 ст. 76 УК в анализируемой части необходимо указать и на примечания к ст.ст. 198 и 199 УК [9]. В целом, мы согласимся с приведенными позициями в той части, что действительно ст. 76¹ УК далека от совершенства, есть ряд вопросов, как относительно качества ее содержания (о чем было сказано выше), так и эффективности применения, так как в судебной практике анализируемая статья применяется крайне редко и по весьма ограниченному кругу преступлений (что будет показано ниже). Вместе с тем, мы видим иной выход из сложившейся ситуации, который не связан с дальнейшим реформированием данной статьи и совершенствованием практики ее применения.

Заключения и выводы

Итак, по нашему мнению анализируемая статья построена с нарушением правил законодательной техники, не обладает признаком системности и каждая ее часть (включая название) требует серьезных корректив, что ставит под сомнение сам факт ее существования. Что касается судебной практики, то статистические данные демонстрируют ее низкую востребованность. Так, например, по данным Судебного департамента при Верховном Суде РФ в 2017 году всего прекращено дел в отношении лица в связи с возмещением ущерба по делам экономической направленности (ст. 76¹ УК) – 39, в 2018 году – 31, в 2019 году – 62, в 2020 – 59, в 2021 – 71. При этом из числа преступлений главы 22 такое прекращение в основном происходит по налоговым преступлениям (в 2017 прекращено 35 дел по ст.ст. 198–199², в 2018 – 28, в 2019 – 20, в 2020 – 6, в 2021 – 12). Большую часть (после изменения редакции статьи в 2018 году) прекращенных дел, из числа указанных в ч. 2 ст. 76¹ УК, составляют дела, возбужденные по статьям о мошенничестве. Так, в 2019 году по ст.ст. 159–159⁶ по анализируемому основанию было прекращено 21 дело, в 2020 – 59, в 2021 – 45. Причем речь идет об освобождении только по основным составам мошенничества, ни по одному квалифицированному или особо квалифицированному виду мошенничества за три анализируемых года дела не прекращались [13]. И это на фоне того, что например, в 2021 году в связи с примирением с потерпевшим по анализируемым статьям было прекращено 2 775 дел, а в связи с назначением судебного штрафа – 2 365 дел, т. е. более чем в 100 раз больше, чем в связи с возмещением ущерба. В итоге получается, что из всего перечня статей ч. 2 ст. 76¹ УК освобождение применяется лишь только по 6 из них (указанные составы мошенничества, а также в единичных случаях присвоение и растрата). Потому еще раз подчеркнем, что мы не можем согласиться с теми авторами [3, 4], которые предлагают дополнить ч. 2 ст. 76¹ УК новыми составами, распространить ее действие на квалифицированные составы уже включенных статей, а также и иными рекомендациями по совершенствованию данной статьи, так как фактически получается, что в ней нет необходимости. Освобождение от уголовной ответственности за совершение налоговых преступлений (а также за совершение некоторых экономических, например, ст. 178 УК) можно осуществлять на основании соответствующих примечаний к статьям Особенной части УК, а по другим статьям – по иным основаниям, предусмотренным главой 11 УК, что подтверждает и судебная практика. Учитывая изложенное, предлагаем исключить ст. 76¹ УК из Уголовного кодекса, что снимет целый ряд разногласий в теории уголовного права, стабилизирует УК с точки зрения системности, исключив избыточность правового регулирования.

Литература

1. Артеменко, Н. В. Практика освобождения от уголовной ответственности по делам о налоговых преступлениях / Н. В. Артеменко, Н. Г. Шимбарева. – Текст : непосредственный // Уголовное право. – 2017. – № 5. – С. 4–12.

2. Благов, Е. В. Освобождение от уголовной ответственности (размышления о проблемах и их преодолении) : монография / Е. В. Благов. – Москва : Юрлитинформ, 2018. – 224 с. – ISBN 978-5-902405-21-4. – Текст : непосредственный.
3. Власенко, В. В. «Реинкарнация» ст. 76.1 УК РФ и другие новеллы института освобождения от уголовной ответственности: законодательные погрешности и перспективы применения / В. В. Власенко – Текст : непосредственный // Российская юстиция. – 2019. – № 8. – С. 25–27.
4. Власенко, В. В. К вопросу о повышении эффективности норм, предусматривающих освобождение от уголовной ответственности по делам о преступлениях в сфере экономической деятельности (ст. 76.1 УК РФ) // В. В. Власенко – Текст : непосредственный // Российский судья. – 2016. – № 11. – С. 21–25.
5. Власенко, В. В. О необходимости дополнительных условий освобождения от уголовной ответственности по делам о преступлениях в сфере экономической деятельности (ст. 76.1 УК РФ) / В. В. Власенко – Текст : непосредственный // Российский судья. – 2015. – № 12. – С. 28–31.
6. Дуюнов, В. К. Освобождение от уголовной ответственности и от уголовного наказания в механизме уголовно-правового воздействия : монография / В. К. Дуюнов, И. А. Подройкина, Р. В. Закомолдин. – Москва : Юрлитинформ, 2022. – 264 с. – ISBN 978-5-4396-2476-8. – Текст : непосредственный.
7. Иванов, Н. Г. Статья 76.1 УК РФ: императивы освобождения от уголовной ответственности / Н. Г. Иванов. – Текст : непосредственный // Уголовное судопроизводство. – 2017. – № 1. – С. 43–48.
8. Макарова, О. В. Освобождение от уголовной ответственности по делам о преступлениях в сфере экономической деятельности / О. В. Макарова. – Текст : непосредственный // Журнал российского права. – 2015. – № 1. – С. 111–118.
9. Наумов, В. В. Добровольное декларирование физическими лицами активов и счетов (вкладов) в банках как инструмент освобождения от уголовной ответственности по экономическим преступлениям / В. В. Наумов, А. В. Щепотьев. – Текст : непосредственный // Право и экономика. – 2016. – № 3. – С. 74–79.
10. Подройкина, И. А. Уголовная ответственность и наказание : учебное пособие / И. А. Подройкина, Н. В. Артеменко, Ю. И. Блохин, П. В. Иванов, Е. Р. Кейдунова, И. А. Фаргиев. – Москва : Юрайт, 2022. – 266 с. – ISBN: 978-5-534-14288-4. – Текст : непосредственный.
11. О практике применения судами законодательства, регламентирующего особенности уголовной ответственности за преступления в сфере предпринимательской и иной экономической деятельности : Постановление Пленума Верховного Суда РФ : от 15.11.2016 № 48 : (ред. от 11.06.2020). – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207109/ (дата обращения : 31.01.2023).
12. О применении судами законодательства, регламентирующего основания и порядок освобождения от уголовной ответственности : Постановление Пленума Верховного Суда РФ : от 27.06.2013 № 19 : (ред. от 29.11.2016). – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93013/ (дата обращения : 31.01.2023).
13. Сводные статистические данные о состоянии судимости в России за 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 годы. Форма № 10.2 «Отчет об особенностях рассмотрения уголовных дел, применения реальных видов наказания и оснований прекращения уголовных дел». – Текст : электронный // URL: <http://www.cdep.ru/?id=79> (дата обращения: 30.01.2023).
14. «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» : Федеральный закон : от 07.12.2011 № 420-ФЗ. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122864/ (дата обращения: 30.01.2023).

**ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ УБИЙСТВА,
СОВЕРШЁННОГО ГРУППОВЫМИ СПОСОБАМИ (П. «Ж» Ч. 2 СТ. 105 УК)**

Ситникова Александра Ивановна

*доктор юридических наук, доцент,
профессор кафедры уголовного права,*

ФГБОУ «Юго-Западный государственный университет»

Курск, Россия

E-mail: orcrimpravo@yandex.ru

Предмет исследования: уголовно-правовые предписания, предусматривающие ответственность за групповые способы убийства. В связи с этим в статье рассмотрены проблемы квалификации убийств, совершённых в составе группы, группой лиц по предварительному сговору и организованной группой.

Цель исследования: совершенствование правоприменительной практики в части квалификации убийств, совершённых различными групповыми способами.

Методы и объекты исследования: методологической основой научного исследования выступает диалектический метод, использованный в совокупности с инструментальными методами познания.

Основные результаты исследования: 1) Верховным Судом РФ проведена дифференциация причинения смерти в составе группы на два способа убийств: совместное причинение смерти и причинение смерти в результате присоединения второго участника, 2) в постановлении сформулированы два правила квалификации в составе группы лиц по предварительному сговору: в виде соисполнительства и убийства с распределением ролей, 3) высшая судебная инстанция рекомендует осуществлять квалификацию убийства в составе организованной группы в качестве соисполнительства, что не соответствует правилам квалификации, сформулированным в ч.3, 4, 5 ст.34 УК РФ.

Ключевые слова: групповые способы совершения убийств, групповой способ, согласованно-групповой способ, организованно-групповой способ, квалификация убийств, совершённых групповыми способами.

**PROBLEMS OF QUALIFICATION OF MURDER BY PERFECT GROUP METHODS
(ITEM "G" PART 2 OF ARTICLE 105 OF THE CRIMINAL CODE)**

Alexandra I. Sitnikova

*Doctor of Law Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Criminal Law,*

South-Western State University

Kursk, Russia

E-mail: orcrimpravo@yandex.ru

Subject of research: is the criminal law prescriptions providing for responsibility for group methods of murder. In this regard, the article considers the problems of qualification of murders committed as part of a group, by a group of persons by prior agreement and by an organized group.

Purpose of research: is to improve law enforcement practice in terms of the qualification of murders committed by various group methods.

Methods and objects of research: the methodological basis of scientific research is the dialectical method used in conjunction with instrumental methods of cognition.

Main results of research: 1) the Supreme Court of the Russian Federation differentiated the infliction of death as part of a group into two methods of murder: joint infliction of death and causing death as a result of the addition of a second participant, 2) the resolution formulated two rules for qualification as part of a group of persons by prior agreement: in the form of co-execution and murder with the distribution of roles, 3) the highest court recommends to carry out the qualification of murder as part of an organized group as a co-execution, which does not comply with the qualification rules, formulated in Parts 3, 4, 5 of Article 34 of the Criminal Code of the Russian Federation.

Keywords: group methods of committing murders, group method, coordinated group method, organized group method, qualification of murders committed by group methods.

Введение

Об актуальности обозначенной темы свидетельствует ряд факторов: длительное время в доктрине уголовного права ведутся острые дискуссии по поводу квалификации действий виновных, совершивших групповые виды убийств, а также по каким признакам следует проводить отграничение убийства в составе группы от причинения смерти потерпевшему в составе организованной группы и убийства, совершённого в соучастии. Целью исследования является выявление степени обоснованности рекомендаций постановления Пленума Верховного Суда РФ о квалификации участников убийства групповыми способами уголовно-правовым предписанием. Задачей проведённого исследования является установление соответствия рекомендаций Верховного Суда РФ о правилах квалификации убийств, совершённых групповыми способами, уголовно-правовым предписанием, сформулированным в ст. 34 УК РФ. Методологической основой научного исследования выступает диалектический метод познания, использованный в единстве с инструментальными методами. О научной новизне исследования свидетельствуют авторские предложения по внесению изменений в текст постановления, направленные на приведение указанных рекомендаций в соответствие с уголовно-правовыми предписаниями, предусмотренными ч. 3, 4, 5 ст. 34 УК РФ.

Результаты обсуждения

Уголовный кодекс РСФСР 1960 г. (п. «н» ст. 102 УК) предусматривал ответственность за единственный способ группового убийства – умышленное убийство в составе группы лиц по предварительному сговору. Уголовный кодекс РФ 1996 г. расширил перечень групповых способов убийства и в п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ сформулировал три вида групповых способов убийства: группой лиц, группой лиц по предварительному сговору и организованной группой. Необходимо отметить, что с позиций законодательной текстологии закрепление в одном пункте статьи трёх разных по степени общественной опасности способов убийства не соответствует требованиям формулирования качественных уголовно-правовых предписаний.

Групповой способ совершения убийства. В качестве отличительных признаков данного способа убийства от двух других, закреплённых в п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ, являются отсутствие таких признаков, как предварительный сговор, наличие устойчивых связей между участниками группы и предварительного объединения членов группы для совершения одного или нескольких преступлений.

В постановлении Пленума Верховного Суда РФ от 27 января 1999 г. № 1 убийством в составе группы признаётся умышленное совместное действие двух или более соисполнителей. Совместность действий соучастников Г. В. Назаренко характеризует наличием трех факторов: взаимосвязью действий (бездействия) участников преступления, достижением общего преступного результата и существованием причинной связи между действиями участников и наступившим преступным результатом [5, с. 52], Высшая судебная инстанция дифференцировала причинение смерти в составе группы на два вида убийств: 1) совместное непосредственное участие двух или более лиц в процессе лишения жизни потерпевшего, 2)

присоединение второго участника к действиям первого лица, направленных на совершение убийства. При этом для квалификации убийства в составе группы по п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ не имеет значения, кто из нападавших причинил смертельное повреждение потерпевшему.

При совместном непосредственном участии двух лиц в совершении убийства необязательно, чтобы смертельные повреждения причинил каждый из нападающих. Так, Курский областной суд признал Ш. и Х. виновными в совершении убийства в составе группы. В результате судебного разбирательства установлено, что Ш. и Х. во время избиения потерпевшего наносили удары по голове и другим частям тела Б. Далее Х. сел сверху на Б., а Ш. начал душить потерпевшего. После этого Х. нанес несколько ударов лопатой по голове Б., отчего потерпевший скончался на месте. Ш. подал кассационную жалобу, в которой указал, что смерть Б. не могла наступить от повреждений, которые он причинил Б. Судебная коллегия по уголовным делам Верховного Суда РФ оставила приговор без изменения и указала, что убийством, совершённым группой лиц, признается совместное совершение умышленных насильственных действий двух или более лиц. Для квалификации по п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ не требуется, чтобы смертельные повреждения были причинены каждым участником убийства [8, с. 29].

В теории уголовного права по-разному трактуются моменты, влияющие на квалификацию действий виновных, совершивших убийство в составе группы. Так, по мнению А. Н. Попова, такой вид убийства чаще всего происходит в процессе ссоры или драки спонтанно и неожиданно [9, с. 615]. Лишение жизни потерпевшего в составе группы имеет место в случае совместных действий двух или более лиц, непосредственно участвовавших в совершении убийства [10, с. 207], а также в результате присоединения другого лица к преступным действиям одного лица, посягнувшего на лишение жизни потерпевшего [4, с. 469].

Согласованно-групповой способ убийства. Убийство, совершённое указанным групповым способом, в судебной практике является наиболее распространённым видом причинения смерти потерпевшему. Во втором абзаце п. 10 постановления Пленума Верховного Суда РФ от 27 января 1999 г. высшая судебная инстанция сформулировала правила квалификации убийства в составе группы лиц по предварительному сговору в виде соисполнительства и убийства в составе группы с распределением ролей между соучастниками. Уголовно-правовая оценка действий участников группового убийства по предварительному сговору без распределения ролей осуществляется как соисполнительство по п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ без ссылки на ст. 33 УК РФ.

Наглядным примером признания убийства в составе группы лиц по предварительному сговору в виде соисполнительства является приговор Амурского областного суда, в соответствии с которым М. и К. осуждены по пунктам «ж» и «к» ч. 2 ст. 105 УК РФ. В кассационной жалобе М. указал, что он не причинил физический вред здоровью потерпевшего. Судом установлено, что М. предложил К. убить потерпевшего с целью скрыть ранее совершённое разбойное нападение. Он активно воздействовал на К. для принятия решения совершить убийство, а после причинения смерти потерпевшему активно содействовал перемещению трупа и совместно с К. сбросил труп с моста. Вопреки доводам жалобы М., суд обоснованно признал наличие предварительного сговора на совершение убийства, совместный и согласованный характер действий, направленных на лишение жизни потерпевшего [8, с. 8].

Отграничение убийства в соучастии (в группе лиц по предварительному сговору с распределением ролей) от убийства групповым способом следует проводить по наличию дифференцированного распределения ролей между соучастниками. Квалификация действий соучастников, совершивших убийство в составе группы по предварительному сговору с распределением ролей, осуществляется: для исполнителей – по п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ, для организатора, подстрекателя и пособника – по соответствующей части ст. 33 и п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ.

Данный вид убийства следует отличать от убийства группой лиц, убийства в составе организованной группы и убийства, совершённого в соучастии. Отличительным признаком

убийства по предварительному сговору от убийства в составе группы является наличие предварительного сговора, который характеризуется достижением соглашения между соисполнителями об объединении усилий, направленных на лишение жизни потерпевшего, до начала совершения преступных действий. Дифференциация убийства в составе организованной группы от других групповых видов причинения смерти проводится по такому конструктивному признаку организованной группы как специальная цель её создания, в качестве которой закон (ч. 3 ст. 35 УК) предусматривает длительную и тщательную подготовку для совершения одного или нескольких преступлений. Отграничение убийства по предварительному сговору в виде соисполнительства от убийства в соучастии осуществляется по наличию такого признака как распределение ролей между соучастниками заранее.

Организованно-групповой способ убийства. Под организованной группой закон (ч. 3 ст. 35 УК) понимает устойчивую группу лиц, заранее объединившихся для совершения одного или нескольких преступлений, которая является наиболее опасной формой группового соучастия. Следуя рекомендациям Пленума Верховного Суда РФ, «действия всех участников независимо от их роли в преступлении следует квалифицировать как соисполнительство без ссылки на ст. 33 УК РФ». В доктрине уголовного права сформировались различные подходы к оценке рекомендаций Верховного Суда РФ по применению п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ при квалификации убийства организованной группой. В частности, по мнению Т. В. Кондрашовой, А. Н. Красикова, А. И. Коробеева, квалификацию убийства таким способом причинения смерти необходимо осуществлять с применением ст. 33 УК РФ [2, с. 97; 3, с. 99–100; 10, с. 211]. Представители другого подхода (С. В. Бородин, А. Н. Попов) являются сторонниками рекомендаций высшей судебной инстанции и выражают полное согласие с предложенными правилами квалификации [1, с. 167, 9, с. 644].

Исполнение рекомендаций постановления Пленума Верховного Суда РФ при квалификации действий членов организованной группы подтверждает судебная практика. Так, *Московским областным судом установлено, что М., Д., Г. и второе лицо, скрывшееся от следствия, дали согласие организатору (также скрывшемуся от следствия) о вступлении в организованную группу. Организатор группы обязал М. и лицо, скрывшееся от следствия, были непосредственными исполнителями убийства, а Д. и Г. выполняли роль квартиросъемщиц, вселившихся к потерпевшему и склонивших его путём уговоров к продаже квартиры. Виновным вынесен приговор по п. «ж» ч. 2. ст. 105 УК РФ. В кассационных жалобах М. утверждал, что преступление он не совершал, Г. и Д. просили о смягчении наказания. Судебная коллегия по уголовным делам Верховного Суда РФ приговор оставила без изменения, а кассационные жалобы без удовлетворения* [7, с. 23].

На наш взгляд, уголовно-правовая оценка действий Г. и Д. проведена без соблюдения уголовно-правовых предписаний ст. 34 УК РФ. Действия указанных лиц могли быть признаны соисполнительством в том случае, когда Г. и Д. совершили преступные действия во время исполнения убийства потерпевшего двумя исполнителями. В действительности Г. и Д. совершили пособнические действия (такowymi, как свидетельствуют материалы уголовного дела, являются склонение потерпевшего путём уговоров к продаже квартиры, обещание приобрести новую квартиру в Московском регионе с доплатой), причём эти действия предприняты ими до совершения убийства. За содействие совершению убийства указанные лица должны быть привлечены к уголовной ответственности по ч. 4 ст. 33 и п. «ж» ч. 2 ст. 105 УК РФ как пособники.

Указанное постановление Пленума высшей судебной инстанции вызывает ряд вопросов: 1) на каком основании осуществлено отождествление убийства в составе группы лиц по предварительному сговору без распределения ролей и убийства в составе организованной группы с участием организаторов, подстрекателей и пособников в качестве соисполнителей? 2) чем обоснована квалификация действий участников группы по предварительному сговору при наличии в их составе организатора, подстрекателя и пособника со ссылкой на ст. 33 УК РФ и исключение ссылки на ст. 33 УК РФ при квалификации действий организатора, под-

стрекателя и пособника, совершивших убийство в составе организованной группы? Следуя разъяснениям Верховного Суда РФ, можно прийти к выводу, что отличие группы лиц от организованной группы высшая судебная инстанция проводит по разным правилам квалификации организаторов, подстрекателей и пособников, принимавших участие при совершении убийства в составе группы лиц по предварительному сговору или организованной группы.

Верховный Суд РФ в категорической форме признал организатора, подстрекателя и пособника соисполнителями убийства в связи с тем, что члены организованной группы заранее планируют преступление, готовят орудия и распределяют роли. Однако в законе (ч. 3, 4, 5 ст. 33 УК) сформулированы все виды действий организатора, подстрекателя и пособника как **во время**, так и **до, и после** совершения преступления. В этой связи закон (ч. 3 ст. 34 УК) предусматривает привлечение указанных лиц к уголовной ответственности в двух случаях: 1) если организатор, подстрекатель и пособник осуществили действия, предусмотренные ч. 3, 4, 5 ст. 33 УК РФ, **до и после** совершения преступления, то их действия надлежит квалифицировать со ссылкой на ст. 33 УК РФ, 2) если указанные лица предприняли действия **во время** совершения преступления, они признаются соисполнителями и при квалификации не следует учитывать предписания ст. 33 УК РФ.

Заключение и выводы

Чтобы устранить отмеченные расхождения, Верховный Суд РФ может внести соответствующие коррективы в действующее постановление и привести в соответствие с уголовным законодательством рекомендуемые Пленумом правила квалификации участников организованной группы. В этой связи предлагаются следующие правила квалификации участников организованной группы, которые подлежат включению в п. 10 постановления Пленума Верховного Суда РФ: 1) при признании убийства, совершённого организованной группой, действия организатора, подстрекателя или пособника, совершивших действия *во время* убийства, независимо от их роли, следует квалифицировать как соисполнительство без ссылки на ст. 33 УК РФ; 2) если организатор, подстрекатель или пособник осуществили действия, предусмотренные ч. 3, 4, 5 ст. 33 *до или после* совершения убийства, то содеянное надлежит квалифицировать со ссылкой на соответствующий пункт ст. 33 УК РФ.

На наш взгляд, Верховному Суду РФ следует привести правила квалификации убийств, совершённых групповыми способами, в соответствие с уголовно-правовыми предписаниями о соучастии и внести коррективы в уголовно-правовую оценку действий организатора, подстрекателя и пособника в качестве соисполнителей при совершении убийства в составе организованной группы.

Научная полемика о качестве разъяснений положения п. 10 постановления Пленума Верховного Суда РФ от 27 января 1999 г. может привести к необходимости подготовки нового варианта проекта правил квалификации убийств тексту уголовного закона, что свидетельствует о практической значимости проведённого исследования.

Литература

1. Бородин, С. В. Преступления против жизни: монография / С. В. Бородин. – Текст : непосредственный. – СПб. : Юридический центр Пресс, 2003. – 467 с.
2. Кондрашова, Т. В. Проблемы уголовной ответственности за преступления против жизни, здоровья, половой свободы и половой неприкосновенности / Т. В. Кондрашова. – Текст : непосредственный. – Екатеринбург: Гуманитарный ун-т, 2000. – 348 с.
3. Красиков, А. Н. Ответственность за убийство по российскому уголовному праву / А. Н. Красиков. – Текст : непосредственный. – Саратов: Саратовский ун-т, 1999. – 124 с.
4. Комментарий к Уголовному кодексу РФ с путеводителем по судебной практике / под ред. А. И. Чучаева. – Текст : непосредственный. – М. : Проспект, 2021. – 1536 с.

5. Назаренко, Г. В. Теоретические основы квалификации преступлений: учебное пособие / Г. В. Назаренко, А. И. Ситникова. – Текст : непосредственный. – М. : Юрлитинформ, 2010. – 152 с.
6. Определение Судебной коллегии по уголовным делам Верховного Суда РФ №39-010-22. – Текст : непосредственный // БВС РФ. – 2011. – № 8. – С. 29.
7. Определение Судебной коллегии по уголовным делам Верховного Суда РФ №4-009-18 от 18 марта 2009 г. – Текст : непосредственный // БВС РФ. – 2010. – № 2. – С. 23.
8. Определение Судебной коллегии по уголовным делам Верховного Суда РФ №59-010-29 от 19 января 2011 г. – Текст : непосредственный // БВС РФ. – 2011. – № 10. – С. 8.
9. Попов, А.Н. Убийства при отягчающих обстоятельствах / А. Н. Попов. – Текст : непосредственный. – СПб. : Юридический центр Пресс, 2003. – 898 с.
10. Полный курс уголовного права. В 5 томах / под ред. А. И. Коробеева. – Т. 1. Преступления против личности. – СПб. : Юридический центр Пресс, 2008. – 682 с. – Текст : непосредственный.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАДИЦИЙ И ОБЫЧАЕВ
В ПРЕСТУПНОЙ СРЕДЕ ПЕНИТЕНЦИАРНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

Хохрин Сергей Александрович

кандидат юридических наук, доцент,

доцент кафедры уголовного права и уголовного процесса

Высшей школы права

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

старший научный сотрудник

отдела изучения проблем управления и реформирования

уголовно-исполнительной системы

Центра изучения проблем управления

и организации исполнения наказаний

в уголовно-исполнительной системе,

ФКУ НИИ ФСИН России

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: hohrinsa@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-0900-1195

Предмет исследования: в статье рассматривается формирование традиций в преступной среде: как они оказывают влияние на осужденных и как способствуют совершению пенитенциарных учреждений.

Цель исследования: ознакомиться с традициями и обычаями преступной среды условиями их формирования и влиянием на осужденных в процессе отбывания наказания.

Методы и объекты исследования: в статье использованы такие общенаучные методы исследования, как обобщение, анализ и синтез, конкретизация.

Основные результаты исследования: определено, что основными носителями криминальных традиций являются профессиональные преступники, которые чаще всего совершают неоднократные нарушения режима содержания или являются злостными нарушителями. Автор полагает, что криминальные традиции это образ жизнедеятельности осужденных, при котором поощряется преступный образ жизни. Традиции регулируют порядок взаимоотношений среди осужденных, носят корпоративный характер и одобряют насилие в отношении других осуждённых, не являющихся членами криминальных группировок.

Ключевые слова: стратификация осуждённых, традиции, обычаи, сотрудники, пенитенциарное учреждение, пенитенциарная преступность, криминал.

**FEATURES OF THE FORMATION OF TRADITIONS
AND CUSTOMS IN THE CRIMINAL ENVIRONMENT
OF PENITENTIARY INSTITUTIONS**

Sergey A. Khokhrin

*Candidate of Law Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Criminal Law and Criminal Procedure, Higher School of Law,
Yugra State University;
Senior Researcher
of the Department for Studying the Problems
of Management and Reforming
the Penitentiary System
of the Center for the Study of Problems
of Management and Organization
of the Execution of Punishments
in the Penitentiary System
of the FKU Research Institute
of the Federal Penitentiary Service of Russia
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: hohrinsa@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0900-1195*

Subject of research: the article discusses how traditions are formed in a criminal environment, how they influence convicts and how they contribute to the commission of penitentiary institutions.

Purpose of research: to get acquainted with the traditions and customs of the criminal environment, the conditions for their formation and the impact on convicts in the process of serving their sentences.

Methods and objects of research: the article uses such general scientific research methods as: generalization, analysis and synthesis, concretization.

Main results of research: it was determined that the main carriers, criminal traditions are professional criminals who most often commit repeated violations of the regime of detention or are persistent violators. The author believes that criminal traditions are a way of life of convicts, in which a criminal way of life is encouraged. Traditions regulate the order of relations among convicts, are corporate in nature and approve of violence against other convicts who are not members of criminal groups.

Keywords: stratification of convicts, traditions, customs, employees, penitentiary institution, penitentiary crime, crime.

Введение

В рамках реализации наказания в исправительных учреждениях происходит концентрация криминогенно настроенных лиц, которые формируют неформальную нормативно-ценностную систему. Основой данной системы являются определенные традиции, состоящие из обычаев и неформальных форм поведения.

Понятие традиции имеет латинские корни *tradition* – и в переводе означает передачу, наследование, преемственность [24, с. 53]. Традиция как элемент социального, культурного наследия определено в Философском энциклопедическом словаре [25, с. 374]. По мнению И. В. Суханова [24, с. 24; 2 с. 51,], традиции – это нерегламентированные формы передачи любых идеологических отношений, являющихся стабилизирующим элементом отношений общества и повторяющие отношения в жизни новых поколений.

«В научных источниках встречаются и более узкие определения традиций как исторически сложившиеся отношений людей, опирающихся на идеалы социально значимых общественных явлений, охраняемых общественным мнением и переданных будущим поколениям» [7, с. 12].

Следовательно, традиции призваны поддерживать уровень переданных отношений в обществе, сохранять устои, обеспечивать преемственность поколений.

Результаты и обсуждение

В работах В. Д. Плахова традиции, как элемент общества, «являются разновидностью социальной нормы, предназначенной для согласования деятельности и поведения отдельных индивидов, социальных групп и объединений» [19, с. 93–94]. Основной задачей традиций является сохранение социальной культуры и общества, также они направлены на синхронизацию и сохранение социальной системы как целостности. Благодаря эволюции общество само вырабатывает определенные отношения, направленные на сохранение внешних и внутренних духовных ценностей.

Интересно мнение П. В. Иванова и В. В. Луцкина, которые указывали на тесную связь традиции и обычаев. Именно историческое начало характеризует традиции, по их мнению. Традициям характерно зарождаться в периоды сильных политических и экономических потрясений, крупных чрезвычайных ситуациях или боевых действиях, тяжелых трудовых буднях. Современные криминальные традиции в том плане, каком мы привыкли их видеть, зародились в середине 20 века. Произошло это в результате «сучьих войн» [29, с. 135–136].

Данные противостояния способствовали распаду преступного мира на небольшие группировки, основными из которых оставались «воры», «суки» и «махновцы». В рамках противостояния данным группировкам и наведения порядка в лагерях происходят изменения в уголовно-процессуальном, уголовном, исправительно-трудовом законодательствах в период с 1959 по 1961 год. Данные изменения предназначались для борьбы с преступным миром, и в конечном итоге привели к изменению воровских принципов, норм, запретов, и уходу криминала в теневые сферы деятельности.

Постепенно криминальные традиции пенитенциарной преступности позволили сформировать некоторые признаки.

Необходимо отметить взаимосвязь криминальных традиций и исторических событий, происходящих в нашей стране. В каждый этап исторического события происходит изменение самих традиций, их ужесточение или смягчение. Изменяется социальное направление традиций, роль и количество последователей. Как указывали в своих сочинениях К. Маркс и Ф. Энгельс, люди сами делают историю, однако под влиянием обстоятельств, которые даны им, и перешли от прошлого [13, с. 119]. Как утверждал В. Д. Плахов, огромное значение в изучении механической детерминации, управления человеческими отношениями и социальными процессами в групповом поведении имеет исследование традиций [19, с. 3].

Во вторую очередь, криминальная традиция объединяет в себе все особенности взаимоотношений преступников, независимо от места их нахождения: их духовные ценности, материальные объекты, субъективные и объективные признаки. Для криминальных традиций характерны строго определенные стереотипы, структура поведения, модель отношений, без которых происходит негативное влияние на преступность и на самодетерминацию, а поэтому отсутствие внутренне стабилизирующих преступность факторов неизбежно приводит к ее саморазрушению [12, с. 27].

В третью очередь, необходимо отметить основные признаки субъектов традиций. При отсутствии субъекта невозможно существование традиций, поскольку любая традиция не существует вне ее носителя. Особенности личностной характеристики носителя (субъекта), его положения в преступной иерархии определяют особенности характеристики непосредственно криминальной традиции.

Наиболее распространенными субъектами выступают различные социальные касты осужденных в исправительных учреждениях. При этом огромное влияние на существование

преступных традиций оказывает вид режима исправительного учреждения, взаимоотношения осужденных и сотрудников, наличие или отсутствие трудовой занятости осужденных.

Критерии систематизации традиций напрямую зависят от субъекта, характера и сферы проявления. Существуют традиции по направлению криминальной деятельности, принадлежности к определенному классу. По характеру традиции могут быть прогрессивными и реакционными. По сфере проявления – социальные, трудовые, досуговые и т. д.

И, наконец, традиции не только выражают преемственность и непрерывность поколений, но и обязательно учитывают места нахождения исправительного учреждения, климатических условий, условий и порядка отбывания наказания, социального развития общества, политической ситуации в стране.

Основной движущей силой возникновения и реализации криминальных традиций в современном обществе является прогресс. Возникновение криминальных традиций иногда обусловлено появлением новых инновационных технологий. Так, например, с развитием сотовой связи появились новые способы управления и передачи информации между осужденными. Основной упор всех криминальных традиций в исправительных учреждениях направлен на создание бытовых условий осужденных, получение прибыли, решение вопросов порядка отбывания наказания, ослабление режима содержания. В силу того, что данные вопросы тесно взаимосвязаны, осужденные не замечают, что им постоянно приходится сталкиваться и находиться под контролем традиции.

Следовательно, можно утверждать, что под понятием криминальных традиций в исправительных учреждениях понимается «исторически сформированная совокупность элементов поведения осужденных, стереотипов их сознания, отношений внутри коллектива, основанная на их криминальном опыте, зависимых от экономических, социальных, прогрессивных факторов» [26, с. 639–644].

Принято утверждать, что понятие «традиции» и понятие «обычаи» – смежные, это подтверждается и философской литературой [24, с. 115]. Данное утверждение является спорным, понятно, что и обычаи, и традиции похожи. Вместе с тем, обычаи регламентируют норы поведения, которые могут являться запретами, например, брать вещи после «опущенных», зато выпить крепкого чаю «купчика» и выкурить сигарету – это традиция.

Справедливо отмечал М. М. Шикирьянов, что исторически сложившиеся нормы поведения, сформированные в результате длительного времени и охарактеризованные преемственностью, называются обычаем [28, с. 156]. Обычаем в исправительном учреждении является система поведения осужденных, выработанная и привычная для данной категории. Обычаи формируют нравы общества и регламентируют неформальные законы данного общества.

Интересные виды неформальных форм предложил В. Ф. Пирожков [18, с. 111]:

«Закон» – высшая неформальная норма, регламентирующая поведение осужденных, совокупность которого формирует кодекс («воровской» закон, «тюремный» закон). Данный неформальный нормативный акт принимается на воровских сходках и является обязательным для выполнения всего криминального мира. Например, одним из основных воровских законов является «соблюдение и поддержка «воровской идеи» или «выделение доли в общак».

«Наказ» – данная норма является производной воровского закона. Располагается ниже воровского закона. Принимается непосредственно в исправительном учреждении группой осужденных во главе со «смотрящим» за исправительным учреждением. Основным назначением наказа является погашение конфликтных ситуаций между осужденными в исправительном учреждении или ответные меры на действия сотрудников. Например, «непримиримое отношение к доносительству».

И последнее, это «Правило» – принимается непосредственно авторитетом собственнически, и направлено на уточнение того или иного спорного вопроса. Например, «почитание родителей, особенно матери».

Как видим, иерархия криминальных норм сильно напоминает структуру нормативно-правовых актов в современном обществе.

Существует много точек зрения по разделению на группы традиций и обычаев. Так, О. П. Дубягина предлагает нормы и обычаи криминальной среды разделить на две большие группы: общие и частные [8, с. 38]. Но, по нашему мнению, наиболее актуальная классификация, предложенная С. Я. Лебедевым:

- первая группа – регулятивная – это те нормы, которые мы перечислили ранее;
- вторая группа – атрибутивная – погоняла, татуировки, «феня», мимика, жесты, все те атрибуты, которые позволяют понять о принадлежности к преступному миру;
- третья группа – эмоциональная – песни, стихи, поговорки на воровскую тематику [11, с. 12].

Благодаря указанному перечню, возможно объединить все признаки современной криминальной субкультуры. Единственное, что хотелось бы добавить, криминальные традиции в исправительных учреждениях можно разделить на два вида.

Первый – традиции старой формации – это такие, которые образованы очень давно и сохранились практически в первозданном виде. Минимально адаптировавшись в наше время.

Второй – современные традиции, образованные под влиянием экономической и политической ситуации в стране.

Мы можем заметить, что традиции осужденных являются гибким инструментом, который может меняться в зависимости от различных объективных и субъективных факторов. Ранее мы уже акцентировали внимание, что существенное влияние на криминальные традиции оказывают различные табу или «западло». Все эти традиции, в первую очередь, направлены на формирование системы воровской жизни и систему выживания в исправительном учреждении. При этом часть традиций распространяется не только на исправительные учреждения, но и на повседневную жизнь.

В зависимости от методологии все традиции мы можем разделить на императивные и диспозитивные.

Императивные традиции чаще всего называют «заповедями осужденных». Это традиции запретов, которые практикуются непосредственно в исправительных учреждениях. К таким запретам можно отнести «стукачество» т. е. осужденные не могут сотрудничать с администрацией, «крысятничество», то есть совершение краж у своих, дополнительно можно отнести сюда, что осужденный не должен: болтать лишнего, не бояться постоять за себя, не выносить еду из столовой, ни у кого ничего не просить. Указанные запреты распространяются на всех осужденных без исключения. Соблюдение их позволяет контролировать взаимоотношения внутри коллектива осужденных и наказывать за их игнорирование.

Диспозитивные традиции основаны на соблюдении уважения со стороны других осужденных. Данные традиции касаются как самого осужденного, так и его окружения. В первую очередь, это касается личной гигиены. Осужденный обязан соблюдать личную гигиену, если не хочет, чтобы его перевели в разряд «чертей» и «чуханов». Осужденный должен «аккуратно относиться к своим вещам, не поднимать случайно найденных предметов, не подбирать окурки и объедки, не причинять вреда больным и пожилым осужденным» [1, с. 47]. Это обусловлено тем, что приобрести новые вещи очень затруднительно в исправительном учреждении, а найденные вещи могут принадлежать другим осужденным, и тебя могут обвинить в краже. При получении каких-либо «предъяв» со стороны, осужденный обязан доказать свою невиновность. При этом одним из способов является совершение членовредительства, то есть нанесение порезов в области предплечий. Данный способ несогласия является очень распространенным и применяется очень часто для привлечения внимания. Как показывает практика, осужденные совершают акты членовредительства публично. Если указанные действия совершаются осужденным в ШИЗО или ПКТ (ЕПКТ), то чаще всего вред причиняется в период обхода или непосредственно перед ним. Порезы обычно неглубокие и неопасные для здоровья. Общественная опасность данных акций заключается не в нанесении увечий, а в том, что акты членовредительства могут являться причинно-следственной связью для совершения групповых преступлений, таких как дезорганизация деятельности учреждений или массовые беспорядки.

Совокупность преступных традиций целесообразней разделить на несколько групп.

1. Преступные традиции, регламентирующие идеологию воровской жизни.

В первую очередь, данные традиции направлены на противостояние администрации исправительных учреждений и осужденных. Они регламентируют строгий запрет на любые формы сотрудничества, а также организацию труда осужденных. Расшатывание режима содержания в исправительном учреждении, поиск новых членов. Данные традиции регламентируют осужденным «страдать» за воровскую идеологию, отстаивать ее интересы, даже в ущерб себе. Особый интерес может вызвать традиция – прощупывать молодого сотрудника на предмет возможности проноса запрещенных предметов, возможность привлечь его к неслужебной связи. При этом подвести сотрудника под увольнение из системы за «неслужебную связь» очень сильно повышает авторитет осужденного [3, с. 19]. Данные традиции основываются на воровских законах и в целом регламентируют этические ценности осужденных в исправительных учреждениях.

Дополнительно указанные традиции регламентируют вопросы стратификации. В них определен порядок взаимоотношений между осужденными. Так, например, в воровских «прогонах» указывалась необходимость поддержания «мужиков», активное их использование в противодействиях с администрацией, а также поиск тех, кто лояльно относится к криминальной субкультуре с целью их привлечения на свою сторону.

Если в учреждении преобладают традиции криминогенного характера, у осужденных, особенно тех, кто впервые отбывает наказание, происходит переоценка жизненных ценностей, усиливается агрессия, изменяются приоритеты. «Авторитеты» к вербовке новых членов подходят тщательно, в течение длительного периода подводят теоретическую и практическую подготовку, активно проводят психологическую обработку. При подборе кандидата обязательно учитывается количество судимостей, по каким статьям отбывал наказания, наличие или отсутствие социальных связей, наличие компрометирующих материалов.

2. Преступные традиции, регламентирующие социально-бытовые условия.

Отбывая наказание в исправительном учреждении, осужденный сталкивается с определенными бытовыми трудностями, однообразным питанием. Предметы первой необходимости предоставляются государством, осужденных это не всегда устраивает, и они начинают искать пути облегчения социально-бытовых вопросов. Решение указанных проблем в условиях исправительного учреждения возможно следующим путем: первое – приобретение предметов в магазине при учреждении в соответствии со ст. 88 УИК РФ. Но там есть ряд ограничений, например, по сумме потраченных денежных средств. Второй способ – получение продуктов питания в посылках и передачах от родственников, но это возможно, только если осужденный не водворён в ШИЗО или ПКТ и поддерживает социальные связи.

Третий способ улучшения социально-бытовых условий – это получение помощи из «общака». Специализированная касса взаимопомощи предназначена для оказания помощи осужденным и собирается авторитетами. Именно с помощью использования средств «общака» лидеры преступных групп осуществили «грев» осужденных. Что, в свою очередь, способствует укреплению воровских понятий.

Рассматривая социально-бытовые условия, нельзя не акцентировать внимание на азартных играх. Осужденный, поддерживающий преступную идеологию, должен уметь играть в азартные игры, это вызывает уважение среди осужденных и позволяет занять более высокую ступень в иерархии. Осужденные играют на «интерес», карточный долг обязателен для выплат, а невыплата карточного долга может привести к преступлению. Осужденный за невыплату карточного долга получит статус «фуфлыжника», а при первой же ошибке будет переведен в «опущенные». В современных реалиях начинает получать распространение статус «резинщик» – это осужденный, который уклоняется или тянет с выплатой долга, «тянет резину».

3. Преступные традиции, регламентирующие обрядовые действия.

Криминальной субкультуре, как и любому направлению культуры, характерна совокупность определённых действий, проводимых в определенном порядке, имеющих символический характер, или, как их еще приятно называть, определенные обряды. В подтверждение

этого в работах Н. С. Сарсенбаева отмечалось существование определенных обрядов с целью психологического воздействия на других осужденных [22, с. 53].

Определенные обрядовые традиции, проводимые среди осужденных, связаны с эмоциональным потрясением, они «аккумулируют в себе мысли, чувства, вызванные установлением, изменением или прекращением важной для человека определенной общественной связи» [24, с. 53].

Первое, чем сталкивается «первоход» по прибытию в учреждение, – это прописка. Данный ритуал ранее описывал Р. Л. Дрваль [7, с. 53], представляет собой совокупность определенных проверок, который позволяет создать первоначальное знание о новичке, способность переживать новеньким экстремальные стрессовые ситуации, понять, будет ли он поддерживать воровские традиции. От того, как пройдет новичок «прописку», зависит, какое неформальное положение он займет.

Прохождение прописки новичком является своеобразным развлечением для осужденных, однообразная и скучная жизнь вынуждает осужденных идти на различные развлечения или приколы.

К тюремным приколам относят разного рода загадки, хитрости, вопросы, основной целью данных приколов является развлечение, а также выяснение реакции человека на способность действовать в данной ситуации. Именно поведение человека при этом позволит занять ему определенную нишу в тюремной иерархии. Так, например, при вопросе: «За что сел?» необходимо ответить «За решетку». Спальное место новичок не имеет право выбирать, ему его должен указать «авторитет». По ответам новичка делают вывод о том, имеет человек криминальный опыт или нет.

Иногда используются тесты.

Например, бросают под ноги полотенце, и вся камера смотрит: если осужденный его поднимет, переведут в разряд «чушковых». Перешагнет через полотенце – избыют. Осужденный, который придерживается воровских традиций, должен вытереть ноги о полотенце, показывая пренебрежение к общепринятым правилам.

Традиции эмоционально-обрядового характера являются обязательным элементом формирования и устойчивого функционирования неформальных форм поведения в исправительных учреждениях. Благодаря этим традициям был сформирован так называемый «преступный этикет».

4. Преступные традиции, регламентирующие ответственность осужденных за нарушение воровского уклада.

Ответственность осужденных за нарушения воровского уклада применяет широкий вид наказаний, и по своей структуре способен сравниться с Уголовным кодексом.

Структура наказаний за нарушение воровских традиций построена по принципу системы наказаний уголовного кодекса – от более мягких к более строгим. Данная система направлена на поддержание воровского уклада и устрашение тех, кто пытается его нарушить.

Данные виды наказания входят в тюремную нормативную систему, под которой можно понимать устойчивую совокупность определенных принципов и норм поведения, выработанных в результате условий отбывания наказания и поддерживаемых большинством осужденных. Тюремная система наказаний является неотъемлемой частью криминальной субкультуры, и по совокупности составляет ее неформальное законодательство.

Наказания у осужденных также зависят от степени тяжести проступка и от субъекта. Например, к ворам применяются традиционно три вида наказаний.

- публичная пощечина за незначительные провинности, например, оскорбление другого вора, причем исполнить данное наказание может только равный;
- перевести в разряд мужиков (дать по ушам);
- смерть.

Характерной особенностью криминальной системы наказаний является то, что отступник не может рассчитывать на «амнистию» или «срок давности», его будут искать, пока не найдут, со всеми вытекающими последствиями. При развенчании вора на воров

ской сходке от него отворачиваются все, и любой уважающий себя арестант обязан при встрече с приговоренным убить его.

Перечень наказаний, применяемых к другим осуждённым, гораздо шире и включает в себя: избиение, сексуальное насилие, перевод в разряд мужиков (дать по ушам), изгнание из семьи (мик로그руппы), парафин (совершение символического акта мужеложства), перелом рук (ног), перевод в фуфлыжники (резинщики), смерть. Как видно из перечня, практически все наказания, так или иначе, затрагивают здоровье осужденного.

Перечень наказаний распространяется на все виды учреждений или субъекта и формирует криминальный кодекс, состоящий из определенных принципов криминальной субкультуры.

Единого мнения по вопросу места и времени возникновения криминального кодекса не существует. Существует мнение, что криминальный кодекс – «это специфический продукт образа жизни, регламентированного непосредственно в местах лишения свободы» [20, с. 116]. Есть мнение, что криминальные нормы появились благодаря субъектам совершенных преступлений [24, с. 185]. Мы согласны с работами А. И. Мокрецова, в которых указано, что «возникновение криминальной нормативной системы происходит в результате желания осужденных к самоорганизации и защиты от попыток администрации исправительного учреждения оказать давление на осужденных с целью соблюдения режима содержания» [14, с. 43–51].

В юридической литературе неоднократно встречались высказывания, что более половины всех преступлений происходят благодаря преступным традициям и обычаями криминальной субкультуры [26, с. 84]. Частично указанная точка зрения подтвердилась и проведенными нами опросами сотрудников. Так, например, о влиянии традиций и обычаев на совершение преступлений против жизни и здоровья указало более 40 % сотрудников. В некотором аспекте влияние криминальной субкультуры на совершение преступлений также подтверждается анализом приговоров по фактам совершения преступлений на территории исправительного учреждения. Например, конфликт как мотив совершения преступлений рассматриваемой категории указывается более чем в 48 %. Причины конфликта не указаны, но они могут быть связаны и с традициями и обычаями криминальной субкультуры. Не секрет, что не все осужденные поддерживают воровские понятия, и, как следствие, между ними происходит противостояние, что является основанием для возникновения конфликта.

5. Преступные традиции, являющиеся атрибутами криминальной субкультуры.

Наиболее ярким элементом указанной группы являются татуировки осужденных. По мнению В. А. Афиногенова, до 70 % осужденных наносит себе татуировки в период отбывания наказания [4, с. 82].

Подробную классификацию особенностей татуировок дал в своих работах А. Г. Бронников. Он указывал, что татуировки бывают сигнально-обособительные, стратификационно-информативные, личностно-установочные, тюремно-атрибутивные, сексуально-эротические, юмористические, декоративно-художественные, сентиментальные и др. [5, с. 4–8].

Мотивами нанесения татуировок в исправительных учреждениях интересовались многие ученые [29, с. 139], но наиболее полно, по нашему мнению, они рассматриваются в учебнике Ю. А. Дмитриева и Б. Б. Казака:

- а) самоутверждение и желание вступить в преступную среду, показать свою ступень в иерархии осужденных, показать свою «масть»;
- б) демонстрация превосходства над окружающими, исключительность осужденного, показать свою значимость;
- в) попытка взять пример с осужденных, которые дольше находились в местах лишения свободы;
- г) память о времени, проведенном в исправительном учреждении;
- д) обычаи и традиции криминальной субкультуры, дань «моде»; противопоставление себя сотрудникам учреждения и закону; скука» [15, с. 153].

В последнее время имеются некоторые тенденции к снижению количества случаев нанесения татуировок. Это связано и с тем, что сотрудники правоохранительных органов активно

используют знания о татуировках в своей работе. Также с начала 2000-х годов появилось выражение «за наколку нет ответа», так как в 90-х многие лидеры криминальных групп делали себе наколки, при этом фактически не отбывали наказание.

В исправительных учреждениях осужденным татуировки наносятся добровольно или насильственно. Насильственные факты нанесения татуировок чаще всего фиксируются в отношении «опущенных», осужденных, сотрудничающих с администрацией. Это является своеобразным «клеймом», которое позволяет другим осужденным узнавать положение их владельцев, да и окружающим все будет понятно, т. к. данные татуировки носят оскорбительный характер.

Татуировки осужденных подвержены изменениям во времени, появляются новые рисунки, аббревиатура, какие-то элементы остаются неизменными, некоторые элементы дополнительно добавляются. Например, стали появляться надписи на латыни или английском языках, китайские иероглифы. Мы не согласны с утверждением В. А. Афиногенова, что с увеличением числа судимостей растет процент осужденных, имеющих татуировки, а также количество татуировок на теле осужденных [4, с. 86]. В учреждениях наблюдается тенденция к снижению количества осужденных, имеющих татуировки.

Однако необходимо учитывать, что отсутствие татуировок у осужденных криминогенной средой воспринимается как нечто нетипичное и даже негативное. Нанесение же татуировок осужденным позволяет свидетельствовать о его криминальной деформации. Дополнительно необходимо отметить: по татуировкам можно идентифицировать, в каких учреждениях осужденный отбывал наказание, к какой криминальной группировке относится.

В любой ситуации можно утверждать, что татуировки являются признаком криминогенной деформации и позволяют охарактеризовать осужденного как члена неформальной группы, его статус к криминогенной среде, оценить возможность его ресоциализации. Татуировки позволяют выделить активных последователей воровских традиций, поставить их на профилактический учет и выработать комплекс мер по их дискредитации.

Заключение и выводы

Рассмотренные традиции не охватывают в полной мере все их разнообразие. Необходимо отметить формирование некоторых закономерностей криминальных традиций у осужденных в пенитенциарных учреждениях. В первую очередь, ослабление обязательности визуального подтверждения поддержания воровских традиций, например, нанесения татуировок. Дополнительно необходимо сделать вывод, что основными носителями криминальных традиций являются профессиональные преступники, которые чаще всего совершают неоднократные нарушения режима содержания, или являются злостными нарушителями, о чем отмечают в работах ученые [10, с. 18–19].

Традиции постоянно претерпевают изменения, на них оказывает влияние технический прогресс, но их основа была заложена очень давно. Некоторые позиции традиций усиливаются, некоторые, наоборот, — ослабевают. Авторитеты все чаще пытаются адаптировать криминальные законы под себя.

Вышеизложенное позволяет нам сделать следующие выводы: целесообразней рассматривать два вида криминальных традиций пенитенциарной преступности.

Первый — традиции старой формации — это такие, которые образованы очень давно, и сохранились практически в первозданном виде, минимально изменившись на сегодняшний день.

Второй — современные традиции, образованные под влиянием экономической и политической ситуации в стране.

Определяется, что традиции представляют собой совокупность определенных правил поведения осужденных, обязательных атрибутов, отношений внутри концентрированной криминогенной среды, подверженных изменениям в зависимости от социально-прогрессивных факторов. Поддержание криминальных традиций осуществляется за счет осужденных, поддерживающих воровские понятия и являющихся нарушителями режима со-

держания. При этом для преступных традиций характерно усиление или ослабление некоторых элементов.

В качестве итога определяется, что криминальные традиции – это определенные привычки и поведение отдельных индивидов, складывающиеся под воздействием социально-экологических факторов. Традиции более подвержены изменениям и корректировке, постоянно трансформируются. Криминальные традиции – это образ жизнедеятельности осужденных, при котором поощряется преступный образ жизни. Традиции регулируют порядок взаимоотношений среди осужденных, носят корпоративный характер и одобряют насилие в отношении других осуждённых, не являющихся членами криминальных группировок.

Литература

1. Абрашкин, В. Ф. Как выжить в российской тюрьме / В. Ф. Абрашкин, Ю. В. Чижов. – М., 2006. – С. 47. – Текст : непосредственный.
2. Алиев, А. К. Народные традиции, обычаи и их роль в формировании нового человека / А. К. Алиев. – Махачкала, 1968. – С. 24. – Текст : непосредственный.
3. Антонян, Ю. М. Криминологическая оценка взаимодействия личности и ситуации / Ю. М. Антонян, Г. Г. Беликова. – Текст : непосредственный // Криминологический журнал. – 2007. – № 1. – С. 19.
4. Афиногенов, В. А. Субкультура осужденных и её влияние на их поведение в условиях изоляции : дисс. ... канд. юр. наук / В. А. Афиногенов. – Ставрополь, 2016. – 215 с. – Текст : непосредственный.
5. Бронников, А. Г. Татуировки осужденных и их криминалистическое значение / А. Г. Бронников. – М., 1980. – С. 4–8. – Текст : непосредственный.
6. Гуров, А. И. Профессиональная преступность: прошлое и современность / А. И. Гуров. – М., 1990. – С. 216.
7. Дрваль, Р. Л. Личность воспитанников исправительных учреждений. Изучение функций субкультуры исправительного учреждения / Р. Л. Дрваль ; [пер. с польск.]. – М. : Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации, 1982. – С. 16–17. – Текст : непосредственный.
8. Дубягина, О. П. Культ тату (криминальная и художественная татуировка) / О. П. Дубягина, Ю. П. Дубягин, Г. Ф. Смирнов. – М. : Юриспруденция, 2003. – 240 с. – Текст : непосредственный.
9. Ткачевский, Ю. М. Прогрессивная система исполнения уголовных наказаний / Ю. М. Ткачевский. – М. : Зерцало, 1997. – С. 84. – Текст : непосредственный.
10. Краев, В. Оперативная обстановка под контролем / В. Краев. – Текст : непосредственный // Ведомости уголовно-исполнительной системы. 2004. – № 3. – С. 18–19.
11. Лебедев, С. Я. Антиобщественные традиции, обычаи и их влияние на преступность : учеб. пособие / С. Я. Лебедев. – Омск : Изд-во Ом. ВШМ МВД СССР, 1989. – С. 12. – Текст : непосредственный.
12. Лебедев, С. Я. Традиции и обычаи в системе криминологической детерминации : автореф. ... докт. юрид. наук. – М., 1995. – С. 27–28. – Текст : непосредственный.
13. Маркс, К. Сочинения / К. Маркс, Ф. Энгельс. – Т. 8. – С. 119. – Текст : непосредственный.
14. Мокрецов, А. И. Неформальная нормативная система в субкультуре осужденных / А. И. Мокрецов. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы совершенствования законодательства и практики деятельности учреждений, исполняющих наказания, в условиях реформы уголовно-исполнительной системы. – М., 2013. – С. 43–51.
15. Пенитенциарная психология : учебник для образовательных учреждений Министерства юстиции Российской Федерации / Ю. А. Дмитриев, Б. Б. Казак. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – С. 317. – Текст : непосредственный.
16. Пирожков, В. Ф. Законы преступного мира молодежи (криминальная субкультура) / В. Ф. Пирожков. – Тверь, 1994. – Текст : непосредственный.

17. Следующая жертва-ты : Азбука безопасности / Юрий Дубягин ; [предисл. О. Богачевой]. – М. : ПКФ «Печ. дело», 1995. – 430 с. – Текст : непосредственный.
18. Пирожков, В. Ф. Криминальная психология / В. Ф. Пирожков. – М., 2001. – С. 138. – Текст : непосредственный.
19. Плахов, В. Д. Социальные нормы. Философские основания общей теории / В. Д. Плахов. – М., 1985. – С. 33, 93–94. – Текст : непосредственный.
20. Плахов, В. Д. Традиции и общество. Опыт философско-социологического исследования / В. Д. Плахов. – М., 1982. – С. 3. – Текст : непосредственный.
21. Полищук, В. И. Культурология : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Полищук. – Москва : Гардарика, 1998. – С. 53. – Текст : непосредственный.
22. Сарсенбаев, Н. С. Обычаи, традиции и общественная жизнь / Н. С. Сарсенбаев. – Алма-Ата : Казахстан, 1974. – С. 12. – Текст : непосредственный.
23. Сопов, В. В. Социально-философский анализ феномена традиции : дисс. ... канд. филос. наук / В. В. Сопов. – Кемерово, 2007. – С. 115. – Текст : непосредственный.
24. Суханов, И. В. Обычаи, традиции и преемственность поколений / И. В. Суханов. – Москва : Политиздат, 1976. – С. 24. – Текст : непосредственный.
25. Философский энциклопедический словарь. – М., 1983. – С. 692. – Текст : непосредственный.
26. Хохрин, С. А. Некоторая адаптивная характеристика пенитенциарного преступника Вестник Северо-Кавказского гуманитарного института / С. А. Хохрин. – Ставрополь, 2017. – С. 639–644. – Текст : непосредственный.
27. Хохряков, Г. Ф. Проблемы, дискуссии, предложения / Г. Ф. Хохряков. – М. : Юрид. лит., 1991. – С. 175. – Текст : непосредственный.
28. Шакирьянов, М. М. Преступные традиции среди осужденных в исправительных учреждениях и борьба с ними : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.08 / М. М. Шакирьянов. – СПб., 2004. – С. 174. – Текст : непосредственный.
29. Шаламов, В. Альманах «Неволя». Приложение к журналу «Индекс/Досье на цензуру» / В. Шаламов. – 2014. – № 39. – С. 135–136.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ
ВЕЙВЛЕТНЫХ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛИОКОСМИЧЕСКИХ
И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ И ИЗМЕНЕНИЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ МИРОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА. ЧАСТЬ 2**

Алексеев Валерий Иванович

доктор технических наук,

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: alekseev_1941@internet.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью установления истинных причин и закономерностей изменений гидрометрических характеристик мирового водного баланса в целом и ее составляющих, природных сред на Земле.

Цель исследования: установление закономерностей взаимовлияний и причин изменений составляющих мирового водного баланса на Земле: расчетных изменений тепловых и водных ресурсов на территории суши, облачности и уровней озер на континентах, Каспийского моря, арктических островов, Гренландии и горных ледников.

Объекты исследования: временные ряды гелиокосмических и глобальных климатических переменных, составляющих мирового водного баланса.

Методы исследования: разработанный автором метод взаимодействия наблюдений переменной или переменных с группами задаваемых гелиокосмических и климатических факторов в частотной и временной областях, полученных с использованием вейвлетных фазовых преобразований с вычислением фазо-частотных и фазо-временных характеристик наблюдений в равных интервалах времени; сравнительный анализ изменений, полученных фазовых характеристик групп переменных с вычислением их матриц согласованности и построением графиков в частотной и временной областях.

Результаты исследования: показано, что расчетные изменения тепловых и водных ресурсов на территории суши, изменения облачности и уровней озер на континентах в наблюдаемых интервалах времени значительно взаимосогласованы в фазо-частотной области, согласованы с изменениями гелиокосмических переменных, ведущим из которых является барицентрические движения Солнца. Показано, что изменение уровня озера Рудольф, расположенного в Кении, происходит в противофазе с изменениями других озер из рассмотренных в фазо-частотной области, обусловленное изменениями уровня озера в противофазе с изменениями испаряемости, испарений и осадков, – расчетных изменений тепловых и водных ресурсов на суше; подобное явление наблюдается и в изменениях озера Нейвашиа (Кения). Анализом данных, полученных на станции Восток в Антарктиде, донных отложений океана в 379,3-1,1 тыс. лет в прошлом, графиков изменений элементов орбиты Земли, установлена высокая согласованность изменений уровня Каспия с изменениями угла наклона, прецессии и эксцентриситета орбиты Земли; в голоцене наблюдается согласованность с изменениями солнечной активности, с изменениями землетрясений, скорости вращения Земли и продолжительности земных суток, а также с изменениями УМО и явления Эль-Ниньо, с изменениями испарений, испаряемости и осадков на суше в фазо-частотной области, обусловленные влияниями гелиокосмических факторов в период инструментальных измерений. Установлено, что изменения составляющих водного баланса арктических островов, Гренландии и горных ледников разделены на две подгруппы; к первой относятся изменения осадков, айсберговых и жидких стоков, к второй, – изменения результирующих балансов и приращений запасов. Составляющие первой подгруппы значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов, второй, – с изменениями климатических переменных с отрицательным знаком в

изменениях балансов арктических островов и Гренландии; вторая подгруппа в балансе горных ледников значительно согласована с изменениями гелиокосмических переменных с отрицательным знаком в фазо-частотной области в наблюдаемых интервалах времени. Наблюдается значительная вариация изменений уровней озер на континентах к изменениям магнитного поля Земли в частотной области и решетчатая структура изменений фазо-временных характеристик переменных, характеризующая цикличность изменений климата на Земле.

Ключевые слова: самоорганизующаяся климатическая система, гелиокосмические и климатические переменные, временные ряды составляющих мирового водного баланса, вейвлетные фазо-частотные и фазо-временные характеристики переменных, матрицы корреляций группы фазовых характеристик.

INVESTIGATION OF THE CONSISTENCY OF CHANGES IN THE WAVELET PHASE CHARACTERISTICS OF HELIOCOSMIC AND CLIMATIC VARIABLES AND CHANGES IN THE COMPONENTS OF THE WORLD WATER BALANCE. PART 2

Valeriy I. Alekseev

Doctor of Technical Sciences,

Yugra State University

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: alekseev_1941@internet.ru

The relevance of research: is due to the need to establish true causes and patterns of changes in the hydrometric characteristics of the global water balance as a whole and its components, natural media on Earth.

Purpose of research: Establishment of patterns of mutual influences and causes of changes in the components of world water balance on Earth: settlement changes in thermal and water resources on the territory of sush, clouds on continents, lake levels on continents, the Caspian Sea, Arctic Islands, Greenland and mountain glaciers.

Objects: Temporary series of heliocosmic and global climatic variables constituting a global water balance.

Methods of research: the method developed by the author of the calculation of the wavelet phase-frequency and phase-temporal characteristics of the group of the studied time series specified at equal intervals of time, with the calculation of their correlation matrices and the construction of the charts of the variables in two coordinate systems, comparative analysis.

Results of research: It is shown that in cyclical climate change on land, global water balance as a whole and its components in different relative units and phase orientations, depending on the properties of components of water balance, natural environments, two groups of variables are studying: Helicomic (Baricentric Sun Movements, Solar activity, long-term solar insolation, greenhouse gases, ozone concentration in the ionosphere, elements of the Earth orbit, geomagnetic field) and global temperature climatic variables caused by changes in the helikosmic factors leading from which is the barycentric movements of the Sun. There is a variability of the water balance depending on their geographic locations on continents. It is shown that the calculated changes in thermal and water resources on the territory of the sush, changes in clouds and levels of lakes on continents at the observed time intervals is significantly interconnected in the phase-frequency domain, coordinated with changes in the heliocosmic variables leading from which is the barycentric movements of the Sun. It is shown that the change in the level of Lake Rudolf, located in Kenya, occurs in antiphase with changes in other lakes from the phase-frequency domain due to changes in the level of the lake in antiphase with changes in evaporation, evaporation and precipitation – the calculated changes in thermal and water resources on land ; Such a phenomenon is observed in changes in Lake Neivasha (Kenya). Data analysis obtained at the East station in Antarctica, bottom sediments of the ocean, in 379.3-1.1 thousand years in the past, graphs of changes in the elements of the

Earth orbit, established high consistency of changes in the Caspian level with changes in the angle of inclination, precession and eccentricity of the Earth orbits; In Holocene, agreed with changes in solar activity; coordinated with changes in earthquakes, the speed of rotation of the Earth and the duration of the earth's day, as well as the changes in YMO and the El-Niño phenomenon, with changes in evaporation and precipitation on land in the phase-frequency domain due to the influences of heliocosmic factors. It has been established that changes in the components of the water balance of the Arctic Islands, Greenland and the mountain glaciers are divided into two subgroups; The first includes changes in precipitation and drains, to the second, – changes in the resulting and increments of balance sheets. The components of the first subgroup are strongly agreed with the changes in the heliosmic factors, the second, – with changes in climatic variables with a negative sign in changes in the balances of the Arctic Islands and Greenland; The second subgroup in the balance of mountain glaciers is strongly agreed with changes in the heliocosmic variables with a negative sign in the phase-frequency domain in the observed inter. In changes of phase-temporal characteristics of groups of factors are observed lattice structures of differently and unidirectional changes of variables, characterizing stochastic variability in natural environments.

Keywords: self-organizing climate system, heliocosmic and climatic variables, time series of world water balance components, wavelet phase-frequency and phase-time characteristics of variables, correlation matrices of the group of phase characteristics.

Введение

Статья является продолжением исследований автора по изучению изменчивости мирового водного баланса влияниями гелиокосмических и климатических факторов с использованием вейвлетного фазового анализа. Исследуются динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши, изменения уровня озер в частях света, уровня Каспийского моря в разных временных интервалах, изменения гидрологических составляющих водного баланса арктических островов, составляющих водного баланса Гренландии и горных ледников на полушариях.

Результаты и обсуждение

1. Изменения облачности в частях Земного шара и расчетных изменений динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши по наблюдениям в 1901–1970,5 гг.

В исследованиях в составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 , Ozon; расчетные изменения тепловых и водных ресурсов: испаряемость, испарения и осадки; изменения облачностей: района Европы, Северной Америки и Австралии; климатических: ТРО, ТРВ, YMO и приземной температуры f_3 .

На рисунке 1 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик облачностей в некоторых частях земного шара, группы взаимодействующих переменных.

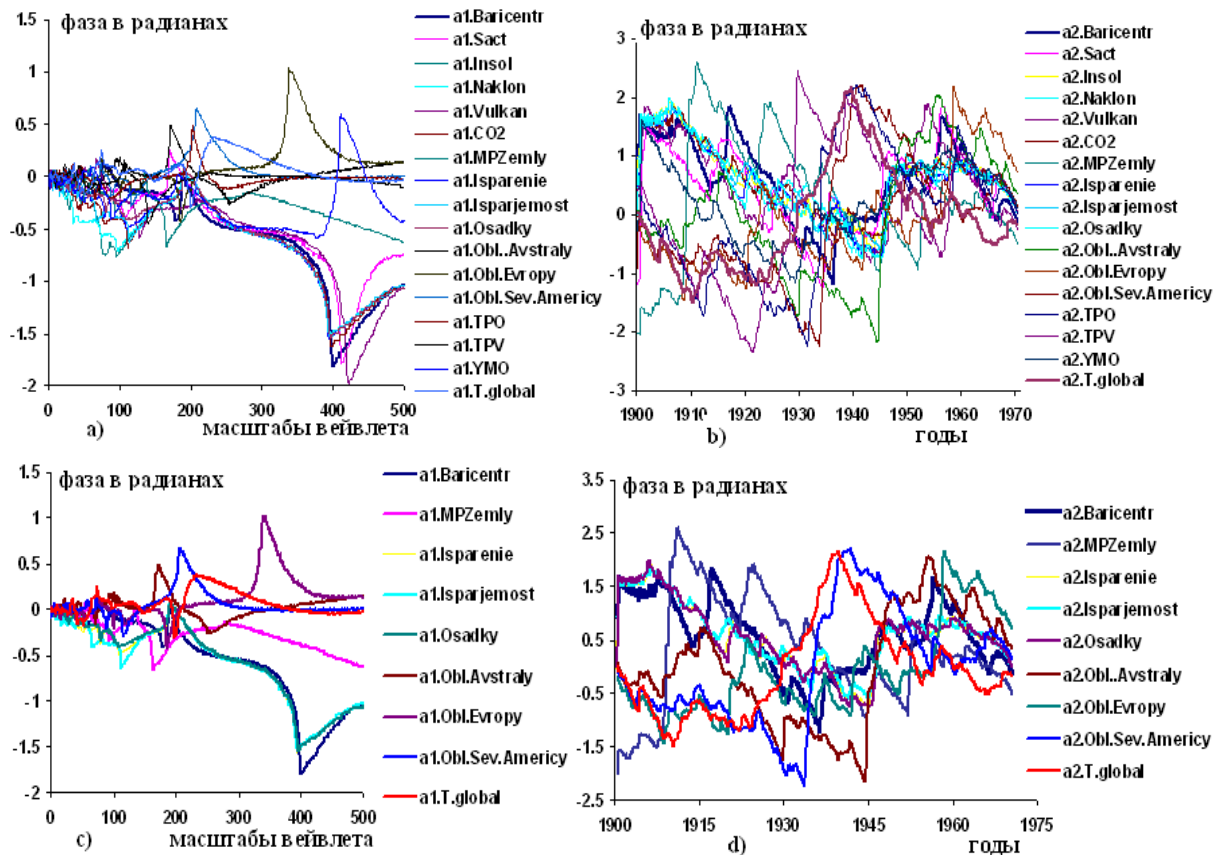


Рисунок 1 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных $a1 = \varphi_f(a, \bar{b})$ и фазо-временных $a2 = \varphi_f(\bar{a}, b)$ характеристик гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2 [1,2], магнитного поля Земли (MPZemly)); расчетных изменений динамики тепловых и водных ресурсов на территории суши [3]: испарений (Isparenie), испаряемости (Isparjemoost), осадков (Osadky); облачностей на континентах: Австралии (Obl. Avstraly), Европы (Obl. Evropy), Северной Америки (Sev. Americy) [3–8]; климатических переменных: TPV, TPV, YMO, приземной температуры (Temp.prizemn)[1]; с) и d) фазовых характеристик: Baricentr, MPZemly, Isparenie, Isparjemoost, Osadky, Obl. Avstraly, Европы Obl. Evropy, Sev. Americy Temp.prizemn по наблюдениям интервале времени 1900,3–1970,5 гг.

На графиках изменений переменных и в матрицах корреляций фазовых характеристик обнаруживаются: 1) испаряемости, испарения и осадки на суше однонаправленно и значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов с $k = 0,89-0,97$ в фазо-частотной области и с $k = 0,56-0,97$ – в фазо-временной области без учета влияния магнитного поля Земли; 2) на изменчивость испаряемости, испарения и осадков на суше значительно влияние изменений магнитного поля Земли с $k = 0,62-0,64$ в частотной области и с $k = -(0,13-0,15)$ во временной области; 3) изменения облачностей на континентах обусловлены изменениями гелиокосмических переменных с $k = |0,04-0,47|$ в частотной области и с $k = |0,01-0,62|$ во временной области; влияние изменений магнитного поля Земли обуславливают изменение облачности с $k = -(0,02-0,60)$ в частотной области, с наибольшим изменений в Австралии, с наименьшим в Северной Америке, и с $k = |0,02-0,42|$ во временной области с наибольшими изменениями в Северной Америке и наименьшим в Австралии; 4) на изменчивость испаряемости, испарения и осадков на суше с $k = |0,04-0,57|$, облачности с $k = |0,37-0,68|$ значительны изменчивости климатических переменных в частотной области и с $k = |0,37-0,68|$, $k = |0,04-0,88|$, во временной области; 5) изменчивости этих же переменных обусловлены и изменениями магнитного поля Земли с $k = |0,04-0,27|$ в частотной области и с $k = |0,35-0,61|$ во временной области.

Коэффициенты корреляций между переменными значимы на уровне $\alpha = 0,08$ с вероятностью $p = 0,95$ по критерию Стьюдента.

Графики изменений фазо-временных усредненных характеристик облачности на континентах, тепловых и водных ресурсов на суше содержат в своих составах составляющие, изменяющиеся с периодичностями: 27,7, 22,9, 15,6 (5,3), 7,9 (1,1), 5,7 (1,0), 2,9 (0,7) и 23,5, 14,6 (2,8), 9,4 (2,0), 5,6 (0,8), 1,8 (0,4) лет соответственно; в скобках указаны стандартные отклонения средних.

2. Изменения уровня озер в частях света

В исследованиях в составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan; уровней озер: Рудольф, Большое Соленое, Балхаш, Чад, Чаны, Мертвое, Каспий [3], Байкал [9, 10]; расчетные изменения тепловых и водных ресурсов: испаряемость, испарения и осадки; климатические: ТРО, УМО, f_3 . На графиках рисунка 2 приведены изменения вейвлетных фазо-частотных и фазо-временные характеристики гелиокосмических и климатических переменных, изменений уровней озер в частях света: Рудольф (Rudolf), Большое Соленое (B. Solenoe), Балхаш (Balhash), Чад (Chad), Чаны (Chany), Мертвое (Mertvoo), Каспий (Kaspy), Байкал (Baykal)

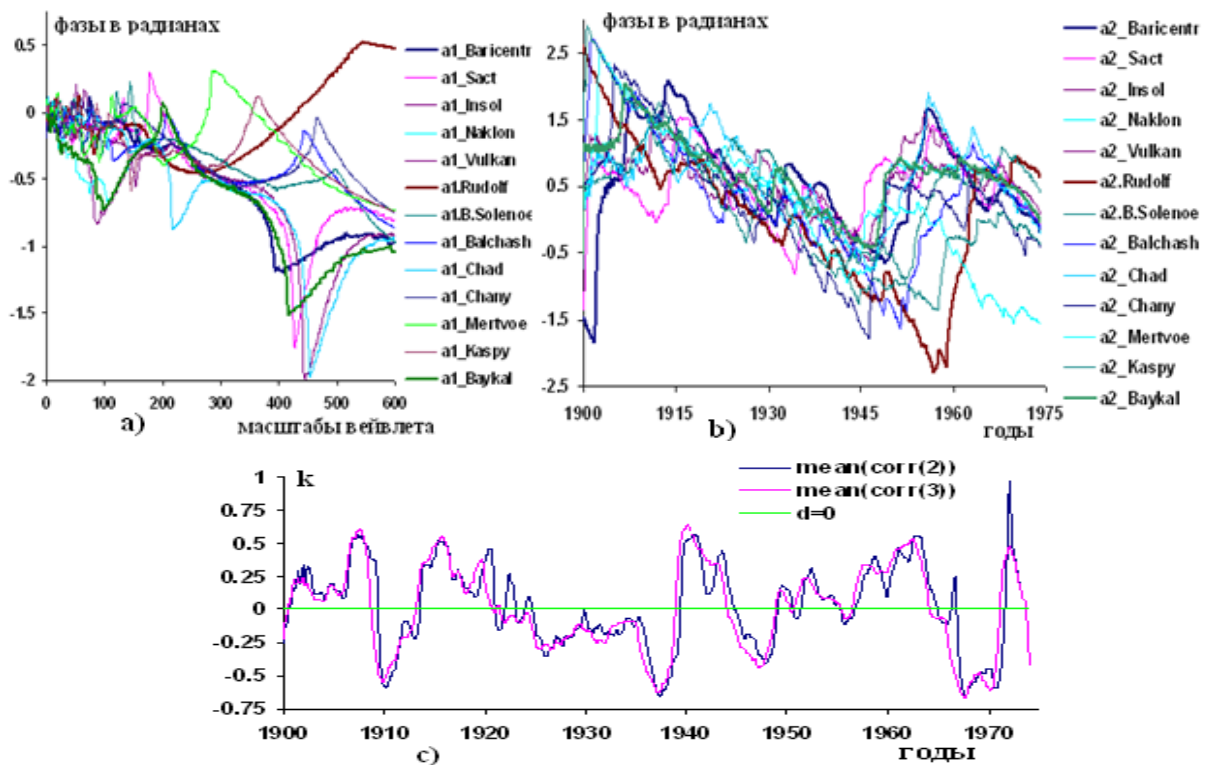


Рисунок 2 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических переменных (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan); в) усредненных фазо-временных характеристик коэффициентов корреляций k согласованных изменений фазо-временных характеристик переменных, приведенных на графиках б и испарений, испаряемости, осадков, ТРВ, УМО, индекса ТДО, T_{global} ; графики получены усреднением текущих корреляций между переменными в интервалах времени 2 и 3 года (по 10 отсчетов между годами) в скользящем режиме

В работах [11–14] обсуждаются особенности колебаний озер и морей на разных континентах.

В откликах вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик озер: Рудольф, Большое Соленое, Балхаш, Чад, Чаны, Мертвое, Каспии и Байкала, расположенных на разных континентах, на действия гелиокосмических и климатических переменных: Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, климатических переменных: УМО, ТРВ, глобальной приземной температуры f_3 ; расчетных изменений тепловых и водных ресурсов: испаряемости, испаре-

ний и осадков на суше *osadky* в интервале наблюдений 1900–1974 годы, приведенных на графиках а и б рисунка 2 проявляются следующие закономерности:

- 1) наблюдаются существенные отличия изменений фаз переменных в заданной спектральной области (масштаба вейвлета), характеризующие различия в условиях изменений уровней озер на разных континентах, в том числе и влиянием антропогенного фактора;
- 2) наблюдается изменчивость уровней озер преимущественным влиянием гелиокосмических факторов с $k = 0,50$ (0,43) в фазо-частотной области и с $k = 0,50$ (0,28) в фазо-временной области по сравнению с влиянием климатических факторов с $k = 0,06$ (0,27) в фазо-частотной области и с $k = -0,46$ (0,23) в фазо-временной области; изменения уровней озер взаимосогласованы с $k = 0,40$ (0,54) в фазо-частотной области и с $k = 0,65$ (0,22) в фазо-временной области, характеризующие разные уровни согласованностей изменений переменных в частотной и временных областях на действия факторов; в скобках указаны значения стандартных отклонений коэффициентов корреляций от средних.
- 3) Наблюдается значительное согласованное изменение гелиокосмических переменных с изменениями расчетных тепловых и водных ресурсов: испаряемости, испарений и осадков с $k = 0,94$ (0,03) в фазо-частотной области и с $k = 0,71$ (0,24) в фазо-временной области; изменения этих переменных в фазовых областях взаимосогласованны с $k = 0,97$ (0,03).
- 4) В изменении фазо-временных характеристик уровней озер, геокосмических переменных, приведенных на графиках б рисунка, в 1913–1947 годы проявляется согласованное однонаправленное снижение по фазе групп переменных в колебательных режимах с последующим переходом на рост по фазе с разной интенсивностью (проявляется и в изменении графиков с на рисунке 2).
- 5) В наблюдаемом интервале времени проявляется аномальное изменение уровня озера Рудольф (пустынное озеро в Кении) в фазо-частотной области с $k = -0,53$ (0,09) на действия гелиокосмических факторов, по сравнению с изменениями уровней других озер в группе с $k = 0,50$ (0,43), обусловленное, скорее всего, его географическим расположением, геомагнитными особенностями, на которой переменные (испаряемость, испарение и осадки) изменяются в отрицательном направлении (проявление снижения уровня озера с сильной испаряемостью, испарением озера и снижением осадков в регионе).
- 6) На графиках с рисунка 2 отображается цикличность согласованности изменений уровней озер на континентах на воздействия факторов с периодичностями: 18,9, 9,6 (1,7), 6,9 (0,9), 3,6 (0,7), 2,2 (0,3) лет. Графики получены как коэффициенты корреляций фазо-временных характеристик переменных, приведенных на графиках б рисунка 2, в текущих 2 и 3 – годовых интервалах усреднения в скользящем режиме.
- 7) Наблюдается сильная вариация изменений уровней озер к изменениям магнитного поля Земли в частотной области с $k = |0,01-0,79|$; наиболее чувствительны к изменениям уровни озер: Чаны, Иссык-Куль, Нейваша, Большое Солёное с $k = |0,41-0,79|$, характеризующее аномальность поля на поверхности Земного шара.

В изменении уровня Каспия обнаружены периодичности в годах: 70,4, 34,7 (3,3), 17,1 (3,2), 10,3 (1,2), 5,4 (1,4), 2,5 (0,9); они вычисляются построением изображения ее фазо-частотной функции $\varphi_f(a,b)$ по наблюдениям в 1839–1998,6 годы.

В изменении уровня озера Байкал обнаружены периодичности в годах: 83,8, 41,5, 13,6 (1,6), 11,0 (2,6), 6,3 (1,3), 3,1 (0,7) по наблюдениям в 1890–2016,1 годы.

В изменении уровня озера Арала обнаружены периодичности в годах: 23,7, 20,6, 11,5 (1,0), 8,0 (2,1), 4,8 (1,0), 1,7 (0,5) по наблюдениям в 1913,5–1991,7 годы.

3. Изменения уровня Каспийского моря по наблюдениям гелиокосмических и климатических переменных в разных временных интервалах

А. Изменения уровня мирового океана, толщины льда, парниковых газов, пыли в атмосфере по данным глубокого бурения ледниковых скважин в Антарктиде, реконструкции ко-

лебания озера Каспия, гелиокосмических и климатических переменных в 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом

На рисунке 3 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик переменных по данным 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом; графики представлены 1893 отсчетами с дискретностью по ~200 лет. гелиокосмических, глобальных климатических переменных по данным бурений ледниковых скважин в Антарктиде, реконструкции колебаний озера Каспия [7], точности реконструкций которых составляют ~1 тыс. лет.

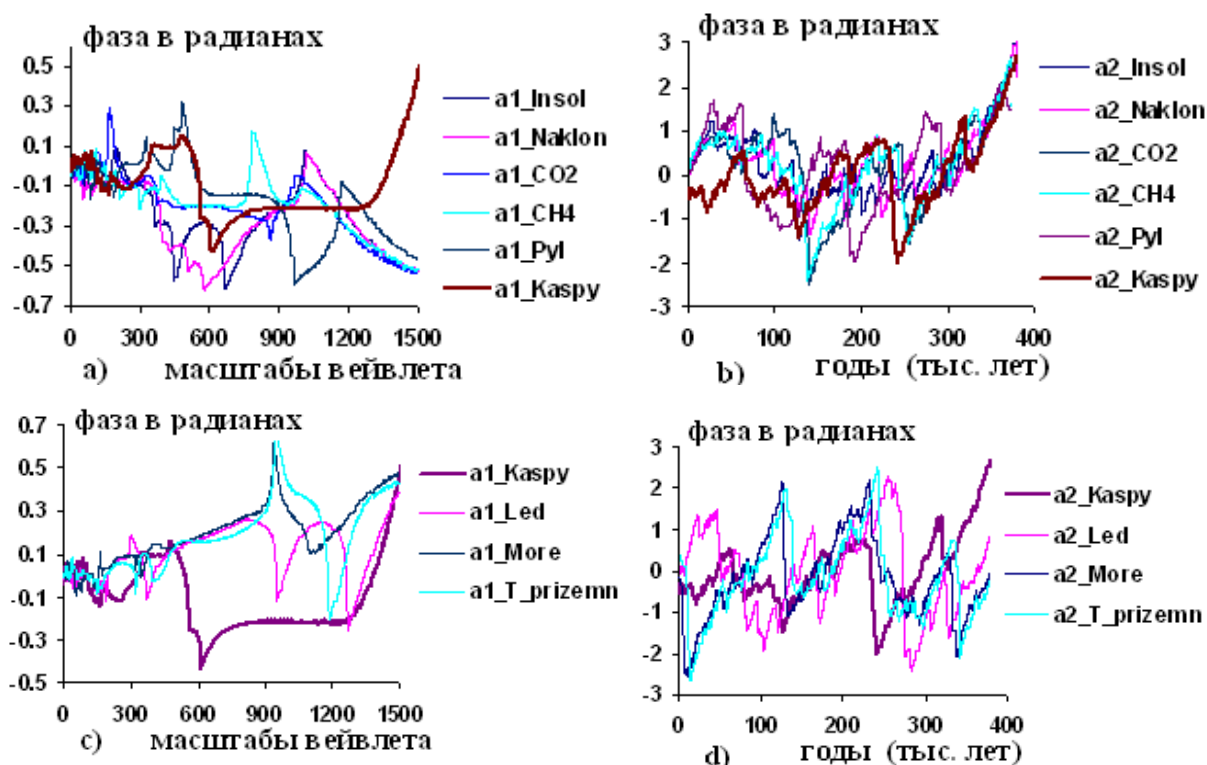


Рисунок 3 – Графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик а) и б) Insol, Naklon, CO_2 , CH_4 , Pyl, Kaspy; в) и г) Kaspy, Led, More, T.prizemn по наблюдениям 379,3–1,1 тыс. лет в прошлом

В работах [15, 16] проводится анализ причин изменений уровня Каспийского моря.

В откликах вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик группы переменных по длительным 379,3–1,1 тысячелетним в прошлом реконструированным наблюдениям, представленных графиками а, б, в, г рисунка 3 и вычисленных таблиц корреляций фазовых характеристик обнаруживаются следующие закономерности: 1) совокупность характеристик в фазовых областях разделяется на два класса; к первому относятся изменения: многолетней солнечной инсоляции *Insol*, элементов орбиты Земли *Naklon*, эксцентриситета *Екс*, и прецессии *Prec*, парниковых газов: CO_2 , CH_4 (на графиках б рисунка 3 фазовых характеристик переменных CO_2 и CH_4 наблюдается почти полное совпадение кривых) и атмосферной пыли *Pyl*; ко второй группе относятся изменения толщины льда моря *Led*, уровня моря *More*, глобальной приземной температуры f_3 и изменения уровня Каспия *Kaspy*; 2) в фазо-частотной области изменчивости климатических переменных согласованы с изменениями гелиокосмических переменных согласованы с $k = -0,25$ (0,34), в фазо-временной области подгруппы переменных согласованы с $k = 0,01$ (0,40); при этом изменчивость уровня Каспия согласована с изменениями гелиокосмических факторов в фазо-частотной области с $k = |0,04-0,44|$, с наибольшим влиянием на изменчивость уровня Каспия эксцентриситета Земли с обратным знаком, в фазо-временной области с $k = |0,12-0,64|$; 3) изменчивости климатических

переменных взаимосогласованы с $k = 0,40$ (0,41) в фазо-частотной области и с $k = 0,31$ (0,47) в фазо-временной области; 3) на графиках фазо-временных характеристик переменных наблюдается решетчатая структура изменений переменных, характерное в изменении климата на Земле.

Следует заметить, что изменчивости переменных в фазо-временной области являются лишь проявлением изменчивостей переменных в фазо-частотной области. Изменчивости переменных в фазо-частотной области отражают частотные составы переменных и их изменчивость в интервале времени наблюдения.

В исследуемом интервале времени наблюдаются периоды колебаний Каспия в интервале тыс. лет: 159,9–129,7, 63,1 (11,5), 42,3 (6,2), 20 (5,6), 12,3 (3,7), 88 (1,9), 3,9 (1,5), согласованные с периодами колебаний гелиокосмических переменных (Insol, Naklon) с $k = -$ (0,11, 0,14); с скобками указаны стандартные отклонения периодов колебаний Каспия.

Б. Изменения реконструкции колебания Каспия в голоцене, от 2000 г. в настоящем до 9835 г. в прошлом

В исследованиях использованы реконструкции колебаний Каспия [15], солнечной активности [17] и приземной температуры [18] в интервале времени от 2000 тыс. лет в настоящем до 9835 лет в прошлом. Исследования проведены с числовыми данными с дискретами по времени в 5 лет.

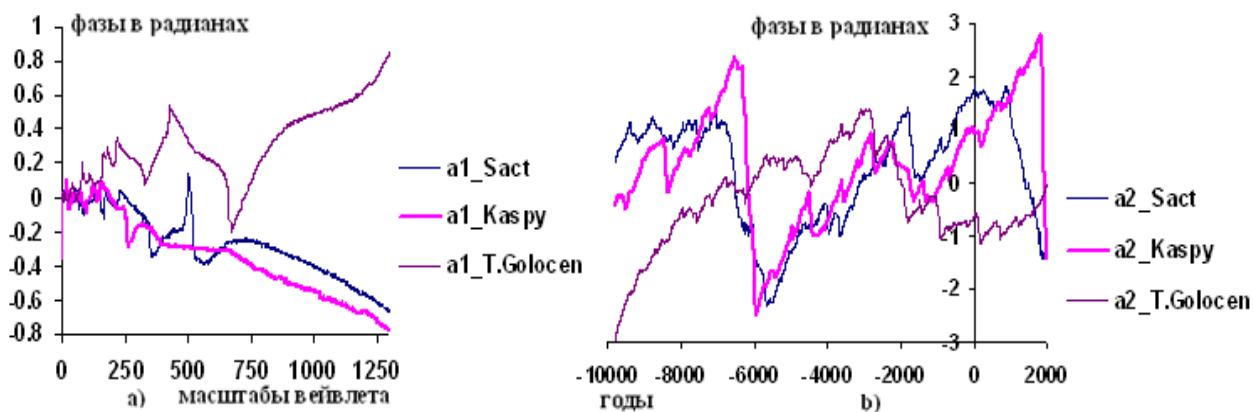


Рисунок 4 – Графики изменений: а) и б) вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: солнечной активности (Sact), уровня Каспийского моря (Kaspy), приземной температуры в голоцене (T. Golocen) (в интервале времени от 2000 тыс. лет в настоящем до 9835 лет в прошлом)

На графиках наблюдаются значительные согласованности изменений уровня Каспия с изменениями солнечной активности и приземной температуры в фазовых областях; наблюдаются характерные однонаправленности изменений кривых на графиках б рисунка 4 в окрестностях -10000, -6000 и ± 2000 тысяч лет. Численные значения согласованных изменений кривых в среднем в наблюдаемом интервале времени приведены в таблице.

Таблица 1

Корреляции фазо-частотных и фазо-временных характеристик солнечной активности, изменений уровня Каспия и приземной температуры в голоцене

переменные	Фазо-частотные характеристики $a1 = \varphi(a, \bar{b})$			Фазо-временные характеристики $a2 = \varphi(\bar{a}, b)$		
	Sact	Kaspy	T.golocen	Sact	Kaspy	T.golocen
Sact	1			1		
Kaspy	0,92	1		0,56	1	
T.golocen	-0,72	-0,76	1	-0,54	-0,22	1

В таблице знаками коэффициентов отражаются направленности относительных изменений графиков. На графиках а фазо-частотных характеристик трех разных переменных рисунка отражаются изменчивости графиков по фазе при действии на соответствующие процессы факторов с разными частотами в одни и те же моменты времени; наблюдаются согласован-

ности откликов переменных на действия одних и тех же факторов в одно и тоже время, но с разными интенсивностями.

В исследованиях по наблюдениям в голоцене обнаруживается изменчивость уровня Каспия преимущественным влиянием гелиокосмического фактора, – солнечной активности, отражаемые на графиках и в таблице корреляций.

В изменении уровня Каспийского моря в голоцене при действии действующих факторов обнаруживаются периодичности: 6205, 4500, 2323, 1732 (235), 466 (101) в годах.

В. Колебания уровня Каспия изменениями гелиокосмических и климатических переменных, параметров движения Земли по наблюдениям в 1901,1–1998,6 годы

В составе гелиокосмических переменных использованы: Baricentr, Sact, Naklon, Vulkan; в составе параметров движения Земли: землетрясения (Zeml-e), ход среднегодовых относительных отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной (dP_deny), ход изменения скорости вращения Земли (Vel_Zemly), скорость изменения длительности земных суток (Ind_LOD); в составе климатических переменных: уровень мирового океана YMO, El-Nino, глобальная приземная температура f_3 [19].

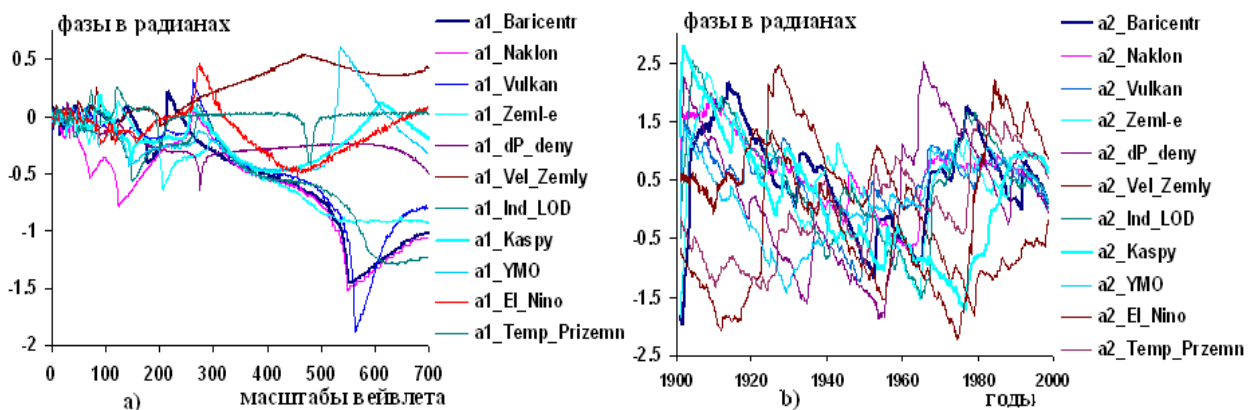


Рисунок 5 – Графики изменений вейвлетных: а) фазо-частотных и б) фазо-временных характеристик гелиокосмических: Baricentr, Naklon, Vulkan,), землетрясений (Zeml-e), отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной (dP_deny), скорости вращения Земли (Vel.Zemly), скорости изменения земных суток (Ind.LOD), уровня Каспийского моря (Kaspy); уровня Мирового океана (YMO), явления Эль-Нино (El-Nino), глобальной приземной температуры (Temp.prizemn) в 1901,1–1998,6 годы

На графиках *a* рисунка 5 отражены особенности откликов группы переменных на воздействия гелиокосмических и климатических факторов: крупных планет солнечной системы, солнечной активности, процессов, происходящих в атмосфере Земли влиянием мирового океана, геомагнитного поля. Как видно из графиков, эти влияния отражаются на изменении частотных составов переменных в группе, в том числе и на изменения уровня Каспийского моря. Изменения переменных в частотной области, обусловленные действиями факторов, отображаются на изменениях переменных во временной области, приведенных на графиках *b* рисунка 5.

В исследовании рассмотрена следующая последовательность взаимовлияний переменных: а) действие гелиокосмических переменных на изменчивость параметров движения Земли, климатических переменных и на изменчивость уровня Каспия в двух областях: фазо-частотном и фазо-временном; б) действие изменчивости параметров движения Земли на изменчивость уровня Каспия в двух областях: в частотном и временном. В терминах коэффициентов согласованностей изменений переменных подгруппы согласованы: 1) гелиокосмических переменных с параметрами движения Земли с $k = |0,18-0,91|$ в фазо-частотной области с наибольшими влияниями Baricentr и Sact и с $k = |0,21-0,84|$ в фазо- временной области с наибольшими влияниями Baricentr, Sconst, Insol, Naklon, CO_2 ; 2) гелиокосмических переменных с уровнем изменения Каспия с $k = |0,01-0,13|$ в фазо-частотной области и с $k = 0,25-0,64$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями Sconst, Insol, Naklon, CO_2 ; 3) ге-

лиокосмических переменных с климатическими переменными с $s = |0,04-0,48|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,40|$ в фазо-временной области; существенны согласованности изменений гелиокосмических переменных с изменениями YMO и El-Nino с $s = |0,29-0,48|$ в фазо-частотной области; 4) параметров движения Земли с изменениями уровня Каспия с $k = |0,01-0,44|$ в фазо-частотной области с наибольшим влиянием изменений скорости вращения Земли и с $k = |0,10-0,51|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием индекса LOD; 5) климатических переменных с изменениями уровня Каспия с $k = 0,15-0,65$ в фазо-частотной области с наибольшими влияниями YMO и El-Nino и с $k = |0,01-0,63|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями El-Nino и приземной температуры f_3 . 4) Показано, что по наблюдениям 1901,1–1975 гг. изменения уровня Каспия существенно, с $k = 0,32-0,35$ и с $k = 0,63-0,69$, согласованы с изменениями испарений, испаряемости и осадков на территории суши в фазо-частотной и фазо-временной областях, соответственно.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что изменения (колебания) уровня Каспийского моря обусловлены изменениями климатических переменных (глобальной температуры, уровня мирового океана, изменений явления Эль-Ниньо), параметров движения Земли (изменений скорости вращения Земли, индекса LOD, среднегодовых относительных отклонений угловой скорости вращения Земли от эталонной величины, землетрясений), обусловленные изменениями гелиокосмических факторов, барицентрических движений Солнца.

В колебаниях уровня Каспия в 1840–2016 годы наблюдаются периоды в годах: 62,9, 29,7 (2,4), 12,6 (2,8), 8,9 (2,0), 4,6 (1,2), 2,0 (0,6).

4. Изменения гидрологических составляющих водного баланса арктических островов по наблюдениям в 1900–1973,2 гг.

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan), климатические (Srad1, TPO, YMO, El-Nino (E/N), лед Арктики (Led. Arktiky), температура Арктики (T. Arktiky), температура приземная (T. prizemn)) и составляющие водного баланса арктических островов (атмосферные осадки, жидкий сток, результирующее водного баланса, приращения суммарного водного объема оледенения)

На рисунке 6 приведены графики изменений вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик климатических переменных и водного баланса арктических островов [8], – откликов на воздействия гелиокосмических и климатических факторов.

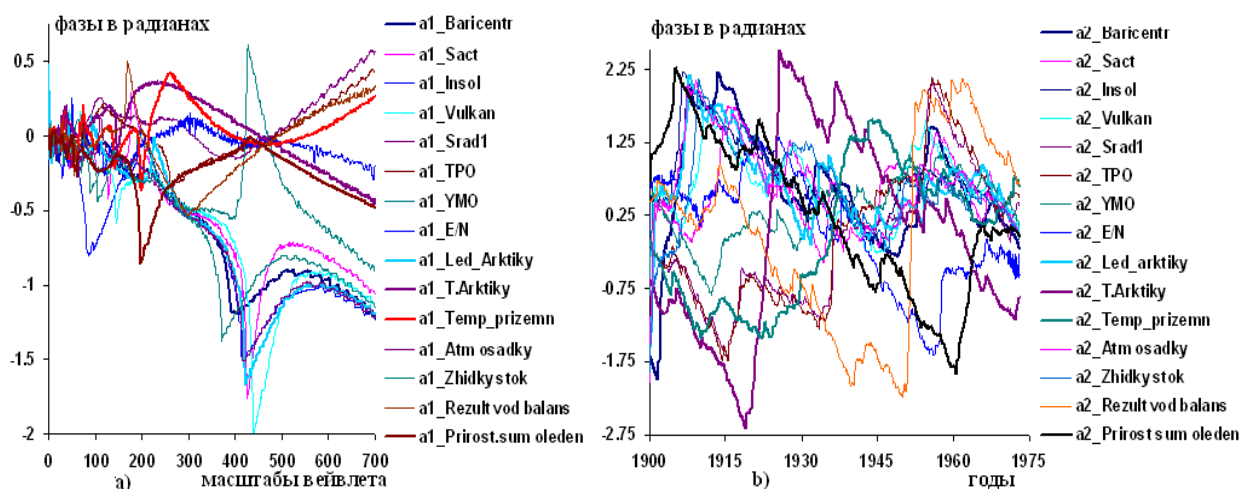


Рисунок 6 – Графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: а) и б) гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Vulkan), климатических (Srad1, TPO, YMO, E/N, Led arktiky, T. arktiky, Temp.prizemn, составляющих водного баланса арктических островов: атмосферных осадков (Atm.osadky), жидкого стока (Zhidky stok), результирующего водного баланса (Rezult.vod.balans) и приращений суммарного водного баланса оледенения (Prirost.sum.olenen) в 1900–1973,2 гг.

На графиках а и б фазовых характеристиках рисунка 6 с очевидностью отображаются согласованности изменений гелиокосмических и климатических переменных с изменениями со-

ставляющих водного баланса арктических островов в частотной и временной областях, изменениями глобальной температуры, температуры и ледового состояния в арктической зоне; проявляются изменения направленностей (фаз) и смещенностей частотных составов переменных в наблюдаемом интервале времени, обусловленные взаимодействием Мирового и Ледовитого океанов с атмосферой Земли. В матрицах корреляций фазовых характеристик переменных проявляются усредненные закономерности мер согласованностей изменений переменных:

- 1) Неравнозначны отклики составляющих водного баланса арктических островов на воздействия гелиокосмических переменных в частотных и временных областях; атмосферные осадки и жидкий сток согласованы с $k = 0,78-0,97$ в фазо-частотной области и с $k = 0,37-0,88$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием барицентрических движений Солнца; изменения результирующего водного баланса и приращения суммарного водного объема оледенения откликаются с $k = -(0,10-0,21)$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,56|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями *Insol* и *Vulkan*.
- 2) Первая подгруппы составляющих водного баланса арктических островов согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,98|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием изменений льдов и температуры в Арктике, с $k = |0,10-0,81|$ в фазо-временной области с наибольшими влияниями ТРО, УМО, льдов и температуры в Арктике и глобальной температуры.
- 3) Изменения второй подгруппы переменных водного баланса арктических островов, – результирующего баланса и приращений водного объема оледенений, согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,90|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,82|$ в фазо-временной области; влияния факторов на переменные близки к равномерному.
- 4) Значительны взаимосогласованности изменений атмосферных осадков и жидкого стока с $k = 0,90$ в фазо-частотной области и с $k = 0,75$, в фазо-временной; слабо согласованы изменения составляющих второй подгруппы и самих подгрупп в фазовых областях.
- 5) Значительно согласованы изменения солнечной радиации *Srad1*, *Srad2* и ТРО, УМО, *El-Nino* в фазовых областях с $k = |0,37-0,98|$.

Заметим, что на изменения атмосферных осадков и жидкого стока на арктических островах преимущественное влияние оказывают изменения гелиокосмических факторов в фазо-частотной области по сравнению с влиянием климатических переменных. В изменениях атмосферных осадков в арктической зоне содержатся периодичности: 45,8, 22,9, 11,7 (1.4), 8.3 (2,3), 4,3 (1,0), 2,0 (0,4) лет по наблюдениям в 1900–1973,2 гг.

5. Изменения составляющих водного баланса Гренландии по наблюдениям в 1900–1974,3 гг.

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (*Baricentr*, *Sact*, *Insol*, *Naklon*, *Vulkan*), климатические (*Srad1*, *Srad2*, ТРО, УМО, *El-Nino* (*E/N*), лед Арктики (*Led. Arktiky*), температура Арктики (*T.Arktiky*), температура приземная (*T.prizemn*)) и составляющие водного баланса Гренландии: атмосферные осадки (*Grenland1*), айсберговый сток (*Grenland2*), жидкий сток (*Grenland3*), суммарный водно-ледниковый сток (*Grenland4*), результирующая водного баланса (*Grenland5*), приращение водно-ледниковых запасов (*Grenland6*).

Характеристики изменений составляющих водного баланса Гренландии описаны в [21–27]. Графики вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик, – откликов изменений составляющих водного баланса Гренландии на воздействия гелиокосмических, глобальных климатических переменных:

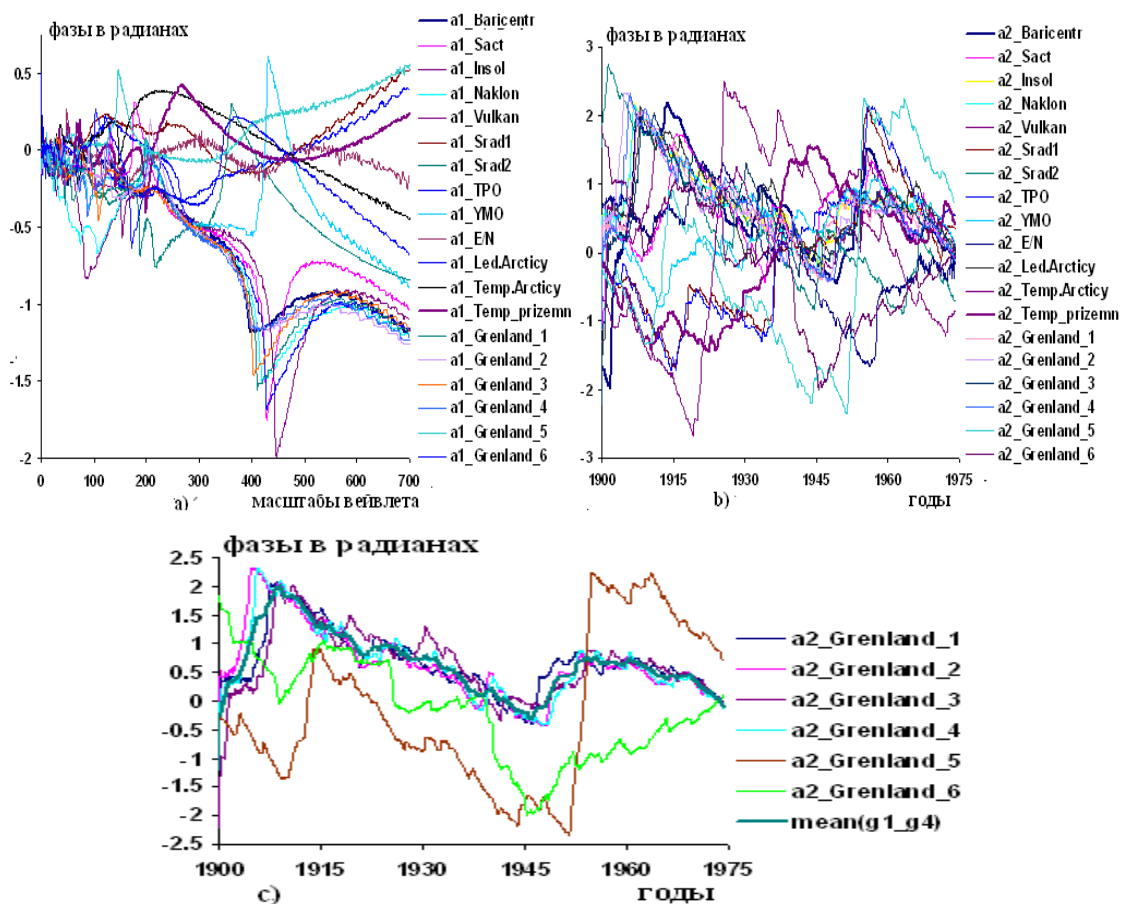


Рисунок 7 – Графики вейлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик: а) и б) гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan), климатических (Srad1, Srad2, TPO, YMO, E/N), составляющих водного баланса Гренландии: а) атмосферных осадков (Grenland_1), айсбергового стока (Grenland_2), жидкого стока (Grenland_3), суммарного водно-ледникового стока (Grenland_4), результирующего водного баланса (Grenland_5), приращений водно-ледниковых запасов (Grenland_6); в) фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии и усредненной кривой первых четырех переменных (mean (g1-g4)) в 1900–1974,3 гг.

В откликах вейлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии на воздействия гелиокосмических и климатических переменных, представленных на графиках а и б рисунка 7 и в вычисленных таблицах корреляций фазовых характеристик, полученных по наблюдениям за переменными в 1900–1974,3 гг., проявляются следующие закономерности:

- 1) Группа составляющих водного баланса Гренландии разделяется на две подгруппы, в первую входят первые четыре составляющие: атмосферные осадки, айсберговый сток, жидкий сток и суммарный водно-ледниковый сток; во вторую: результирующая водно-ледного баланса и приращение водно-ледниковых запасов.

Таблица 2

Корреляции составляющих групп водного баланса Гренландии

Факторы	Группы переменных	Фазо-частотные характеристики	Фазо-временные характеристики
Гелиокосмические	1 подгруппа	0,93 (0,03)	0,65 (0,27)
	2 подгруппа	-0,26 (0,44)	0,28 (0,17)
Климатические	1 подгруппа	0,25 (0,37)	-0,12 (0,54)
	2 подгруппа	-0,08 (0,57)	-0,05 (0,52)
ВКФ	1 подгруппа	0,57 (0,65)	0,67 (0,30)
	2 подгруппа	-0,07 (0,64)	0,39 (0,34)

- 2) В таблице корреляций составляющих групп водного баланса Гренландии приведены согласованности изменений подгрупп переменных на воздействия гелиокосмических и климатических переменных и взаимокорреляций внутри подгрупп в двух фазовых областях (ВКФ). В таблице в скобках указаны значения стандартных отклонений коэффициентов корреляций переменных от средних.
- 3) Наблюдаются значительные согласованные изменения атмосферных осадков, айсбергового, жидкого и суммарного водно-ледникового стоков на изменения гелиокосмических переменных в фазо-частотной области с $k = 0,93$ (0,03) и с $k = 0,65$ (0,27) в фазо-временной области, характеризующие близость частотных составов изменений гелиокосмических факторов и составляющих водного баланса Гренландии, наблюдаемые на графиках а рисунка 7.
- 4) На изменчивость результирующего водного баланса и приращений водно-ледниковых запасов Гренландии также существенны изменения гелиокосмических факторов с $k = -0,26$ (0,44) в фазо-частотной области, но с обратным знаком в наблюдаемом интервале времени.
- 5) Наблюдается аналогичность изменений составляющих водного баланса Гренландии и арктических островов, характеризующих схожесть климатических изменений в регионах.
- 6) На графиках с рисунка 7 приведены изменения фазо-временных характеристик составляющих водного баланса Гренландии и усредненные изменения первой подгруппы переменных $mean(g1_g2)$ в наблюдаемом интервале времени 1900–1974,3 гг.; кривая содержит составляющие периодичностей в годах (спектра): 48,1, 24,0, 20,8 (4,3), 15,4 (2,6), 8,9 (1,5), 4,2 (1,4), 2,1 (0,5).

6. Изменения составляющих водного баланса горных ледников по наблюдениям 1900–1974,7 гг.

В группу исследуемых переменных включены: гелиокосмические (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2), климатические (Srad1, Srad2, TPO, YMO, El-Nino (E/N), лед Арктики (Led.Arktiky), температура Арктики (T.Arktiky), температура приземная (T.prizemn)) и составляющие водного баланса горных ледников: атмосферные осадки (Lednik1), талый сток (Lednik2), результирующая баланса (Lednik3), суммарное приращение объема ледников (Lednik4) [8]. Изменчивости горных ледников описаны в работах [28–32].

На рисунке 8 отражены графики изменений составляющих водного баланса горных ледников и их отклики в виде вейвлетных фазо-частотных и фазо-временных характеристик на воздействия гелиокосмических и климатических переменных.

На графиках изменений фазовых характеристик составляющих водного баланса горных ледников на воздействия гелиокосмических и климатических факторов наблюдаются следующие закономерности: 1) изменения подгрупп переменных: а) атмосферные осадки и талый сток и б) результирующая баланса и суммарное приращение объема ледников значительно согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,95$ (0,01) и с $k = -0,74$ (0,11) в фазо-частотной области и с $k = 0,66$ (0,30) и $k = 0,08$ (0,12) в фазо-временной области; 2) эти же подгруппы переменных (а, б) согласованы с изменениями климатических переменных с $k = 0,08$ (0,18) и $k = -0,10$ (0,51) в фазо-частотной области и с $k = -0,22$ (0,548) и $k = -0,20$ (0,55) в фазо-временной области с наибольшими влияниями изменений площади льдов и температуры в Арктике и солнечной радиации; 3) значительны согласованы изменения подгрупп составляющих водного баланса горных ледников с $k = |0,63-0,99|$ в фазо-частотной области и с $k = |0,10-0,94|$ в фазо-временной области с наибольшим влиянием изменений атмосферных осадков и талого стока; 4) На графиках с рисунка 8 приведены относительные изменения двух групп составляющих водного баланса горных ледников в наблюдаемом интервале времени 1900-1974,7 гг; 5) вычислен спектр периодичностей изменений атмосферных осадков и талого стока в годах: 24,6, 12,2 (2,1), 9,0 (2,1), 5,0 (1,4), 2,1 (0,5) по наблюдениям за переменными в 1900-1974,7 гг; в скобках указаны стандартные отклонения коэффициентов корреляций от средних.

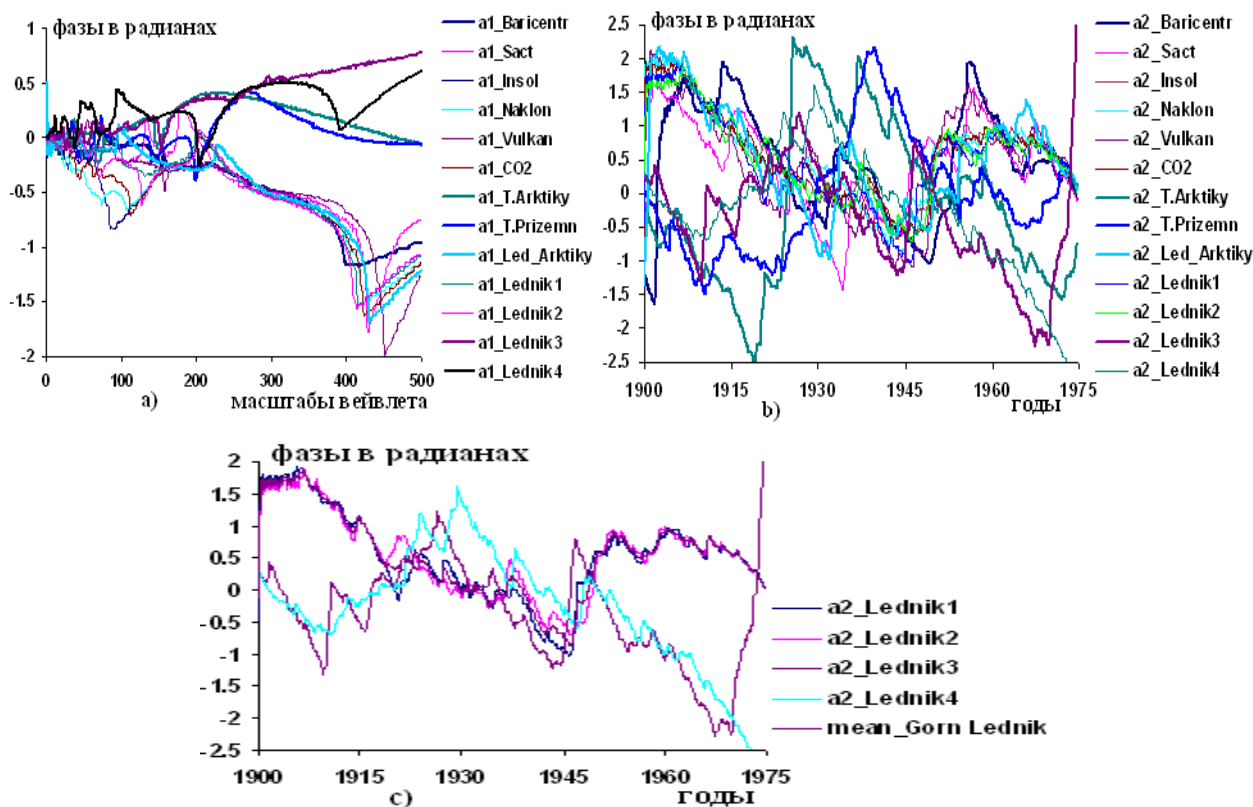


Рисунок 8 – Графики вейвлетных: а) и б) фазо-частотных и фазо-временных характеристик: гелиокосмических (Baricentr, Sact, Insol, Naklon, Vulkan, CO_2), климатических: температуры в Арктике (T.Arktiky), приземной глобальной температуры (T.prizemn), ледового состояния в Арктике (Led Arktiky) и составляющих водного баланса горных ледников: атмосферных осадков (Lednik1), талого стока (Lednik2), результирующего баланса (Lednik3), суммарного приращения объема ледников (Lednik4); в) фазовых характеристик составляющих водного баланса горных ледников и усредненной кривой первых двух составляющих баланса по наблюдениям 1900–1974,7 гг.

Заключение и выводы

На графиках вейвлетных фазовых характеристик исследуемых переменных и их матриц корреляций в наблюдаемых интервалах времени проявляются следующие закономерности:

1. Существенное согласованное изменение гелиокосмических переменных и расчетных тепловых и водных ресурсов на территории суши с $k = 0,93-0,99$ в фазо-частотной области, влияние изменчивости тепловых и водных ресурсов на суше и климатических переменных с изменчивостью облачностей на континентах с $k = |0,10-0,68|$ по наблюдениям в 1901–1970,5 гг.

2. Изменения уровней озер на континентах значительно согласованы с изменениями гелиокосмических факторов с $k = 0,50 (0,43)$ в фазо-частотной области по сравнению с влиянием климатических переменных с $k = 0,06 (0,27)$ по наблюдениям в 1900–1974 гг.; значительны согласованности изменений уровней озер на континентах с изменениями испаряемости, испарений и осадков на суше с $k = |0,10-0,99|$ в фазовых областях; при этом изменения уровня пустынного озера Рудольф в Кении происходит в противофазе с изменениями других озер, связанные с согласованностью изменений испаряемости, испарений и осадков в регионе с $k = -0,57$ с изменениями гелиокосмических переменных.

3. В изменениях уровня Каспийского моря по наблюдениям в 378,3–1,1 тыс. лет в прошлом наблюдается сильная согласованность с изменениями элементов орбиты Земли (Naklon, 'Екс (эксцентриситет)), Insol с $k = -(0,11-0,44)$ с наибольшим влиянием эксцентриситета в фазо-частотной области; в интервале времени от 2000 тыс. лет в современности до 9835 года в прошлом, в голоцене, изменения уровня Каспия согласованы с изменениями сол-

нечной активности с $k = 0,92$ и с изменениями приземной температуры с $k = -0,72$ в фазо-частотной области; по наблюдениям в 1901,1–1998,6 годы изменения уровня Каспия в фазо-частотной области согласованы с изменениями солнечной активности с $k = 0,13$, изменениями землетрясений, скорости вращения Земли и продолжительности земных суток с $k = -(0,11-0,44)$ с наибольшим влиянием скорости вращения Земли; существенны влияния изменений приземной температуры f_3 , уровня мирового океана УМО и явления Эль-Нино (Е/Н) с $k = 0,15-0,85$ наибольшим влиянием Е/Н, обусловленные влияниями гелиокосмических факторов; показано, что по наблюдениям 1901,1–1975 гг. изменения уровня Каспия существенно, с $k = 0,32-0,35$ и с $k = 0,63-0,69$, согласованы с изменениями испарений, испаряемости и осадков на территории суши в фазо-частотной и фазо-временной областях соответственно.

4. В изменении водного баланса арктических островов и Гренландии наблюдается разделение составляющих балансов на две подгруппы в фазо-частотной области: а) атмосферные осадки и жидкий сток на арктических островах, атмосферные осадки, айсберговый и жидкий стоки, суммарный водно-ледниковый сток в водном балансе Гренландии, которые согласованы с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,90-0,94$ и б) результирующий баланс и приращения суммарного водного объема оледенения в балансе арктических островов, результирующая водного баланса и приращения водно-ледниковых запасов в водном балансе Гренландии согласованы с изменениями климатических переменных с $k = |0,10-0,87|$.

5. В изменении составляющих водного баланса горных ледников на воздействия гелиокосмических переменных в интервале времени 1900–1974,7 годы наблюдается разделение группы на две подгруппы в фазовых областях: а) атмосферные осадки и талый сток, согласованные с изменениями гелиокосмических переменных с $k = 0,95 (0,01)$ в фазо-частотной области и с $k = 0,66 (0,30)$ в фазо-временной области; б) результирующая баланса и суммарное приращение объема ледника согласованы с изменениями гелиокосмических переменных $k = -0,74 (0,11)$ в фазо-частотной области (в противофазе с изменениями первой подгруппы) и с $k = 0,08 (0,12)$ в фазо-временной области.

6. На графиках изменений фазовых характеристик групп переменных наблюдается решетчатая структура изменений гелиокосмических и климатически переменных, цикличность изменений составляющих мирового водного баланса, характеризующая цикличность изменения климата в наблюдаемых временных интервалах.

Литература

1. Алексеев, В. И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 1 / В. И. Алексеев. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 238–250.
2. Алексеев, В. И. Исследование изменений глобального климата как сложной системы с использованием вейвлетных фазо-частотных функций, фазо-частотных и фазо-временных характеристик гелиокосмических и климатических переменных. Часть 2 / В. И. Алексеев. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 8. – С. 99–111.
3. Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – 696 с. – Текст : непосредственный
4. Касимов, Н. С. Введение. Проблемы глобальных изменений / Н. С. Касимов, Р. К. Клиге // Современные глобальные изменения природной среды. – Т. 3. Факторы глобальных изменений. – М. : Научный мир, 2012. – С. 19–34. – Текст : непосредственный.

5. Henderson-Sellers, A. Continental clouiness changesthis century / A. Henderson-Sellers // *GeoJournal*, 1992. – V. 27, № 3. – P. 255–262.
6. Dai, A. Surface Observer Global Land Precipitatin Variations during 1900-88 / A. Dai, J. Y. Fung, A. D. Genio // *Journal Climate*. – 1997. – V. 10, № 11. – P. 2943–2962.
7. Магомедов, М. Г. Каспийская Атлантида / М. Г. Магомедов, С. А. Каспаров, Н. В. Тупик // *Научная мысль. Кавказ*. – 1997. – С. 51–60. – Текст : непосредственный.
8. Клиге, Р. К. Изменения мирового водного баланса / Р. К. Клиге, Л. С. Евсеева. – Текст : непосредственный // *Современные глобальные изменения природной среды : в 2-х т. / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге*. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – С. 269–278.
9. Никитин, В. М. Риски маловодных и многоводных периодов для озера Байкал / В. М. Никитин, Н. В. Абасов, Т. В. Бережных, Е. Н. Осипчук. – Текст : непосредственный // *География и природные ресурсы*. – 2016. – № 5. – С. 29–38.
10. Бережных, Т. В. Колебания притока воды в водохранилища Ангарского каскада ГЭС в условиях глобального изменения климата / Т. В. Бережных, Н. В. Абасов. – Текст : электронный // *Гос. доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2008 г. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области*. – Иркутск, 2009. – С. 320–325. – URL : <https://vossta.ru/doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okrujayushej-sredi-irkutskoj-o.html> (дата обращения: 10.03.2022).
11. Minale, A. S. Water level fluctuations of Lake Tana and its implication on local communities livelihood, northwestern Ethiopia / A. S. Minale // *International Journal of River Basin Management*. – 2019. – V. 18, № 4. – P. 503–510.
12. Tokano, T. Modeling of Seasonal Lake Level Fluctuations of Titans Seas / T. Tokano, R. D. Lorenz // *Journal of Geophysical Research Planets*. – 2019. – V. 124, № 2. – P. 617–635.
13. Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its Environmental Consequences Using Multitemporal Landsat 7. ETM+ Images. / V. Nhu, A. Mohammadi, H. Shahabi, A. Shirzadi, N. Al-Ansari, B. B. Ahmad, W. Chen, M. Khodadadi, M. Ahmadi, K. Khosravi, A. Jaafari, H. Nguyen // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – V. 17, № 12. – URL : <https://europepmc.org/article/med/32545634> (data of application: 10.03.2022).
14. Sea-level fluctuations driven by changes in global ocean basin volume following supercontinent break-up / N. M. Wright, M. Seton, S. E. Williams, J. M. Whittaker, R. D. Müller // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – V. 208. – Pp. 1–12.
15. Табелинова, А. С. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия и методы исследования / А. С. Табелинова. – Текст : непосредственный // *Евразийский союз ученых*. – 2019. – Т. 4 (61). – С. 34–40.
16. Гаршин, И. К. Циклы древних миграций из Урала в Среднеземноморье по данным археологии, лингвистики, популяционной генетики и климатологии / И. К. Гаршин. – Текст : электронный. – 2019. – URL : www.garshin.ru/history/archeology/ancient-eurasia/bbc-r1b-match.htm (дата обращения: 10.03.2022).
17. Solanki, N. K. An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 1100 years / S. K. Solanki, I. K. Usoskin, B. Kromer, M. Schussler, J. Beer // *Nature* 2005. – Vol. 431, № 7012. – P. 11084–11087.
18. History of Earth's Climate. – 2020. – URL : <https://www.dandebate.dk/eng-klimate7.htm/> (data of application: 10.03.2022).
19. Global Temperature Report for 2019. – 2020. – URL : <http://berkeleyearth.org/2019-temperatures/> (data of application: 10.03.2022).
20. Fang Zou, F. Mass balance of the Greenland Ice Sheet from GRACE and Surface Mass Balance Modelling / F. Fang Zou, R. Tenzer, Y. S. Fok, E. Janet, J. E. Nichol // *Water*. – 2020. – V. 12, № 7. – URL : <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/1847> (data of application: 10.03.2022).
21. Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018 / A. Shepherd, E. Ivins // *Nature*. – 2020. – V. 579. – P. 233–239.

22. Hanna, E. Greenland surface air temperature changes from 1981 to 2019 and implications for ice-sheet melt and mass-balance change / E. Hanna, J. Cappelen, X. Fettweis, S. Mernild, T. L. Ruth, M. K. Mottram, T. J. Ballinger, R. J. Hall // *International Journal of Climatology*. – 2020. – P. 1–17.
23. Mooney, C. Greenland's ice losses have septupled and are now in line with its highest sea-level scenario, scientist / C. Mooney // *Washington Post. Climate and Environment*. – 2019. – URL : <https://www.grandforksherald.com/news/science-and-nature/4815905-Greenlands-ice-losses> (data of application: 10.03.2022).
24. Lanteigne, M. The changing shape of Arctic security / Lanteigne M. // *NATO Review. Arctic News and Analysis*. 2019. – URL: <https://www.nato.int/docu/review/articles/2019/06/28/the-changing-shape-of-arctic-security/index.html> (data of application: 10.03.2022).
25. Mouginot, J. Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018 / J. Mouginot, E. Rignot, A. A. Bjørk, R. Millan, M. Morlighem, B. Noël, B. Scheuchl, M. Wood // *Proc National Academy Science USA*. – 2019. – V. 116, № 19. – P. 9239–9244.
26. Mielan Solly, M. Greenland Lost 12.5 Billion Tons of Ice in a Single Day / M. Meilan Solly // *Forbes*. – 2019. – URL : <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/08/06/greenland-lost-125-billion-tons-of-ice-in-one-day-a-grave-reminder-of-our-changing-planet/?sh=9257a0a39868> (data of application: 10.03.2022).
27. Colgan, W. Greenland ice sheet mass balance assessed by PROMICE (1995–2015) / W. Colgan, K. D. Mankoff, K. K. Kjeldsen, A. A. Bjørk, J. E. Box, S. B. Simonsen, L. S. Sørensen, S. A. Khan, A. M. Solgaard, R. Forsberg, H. Skourup, L. Stenseng, S. S. Kristensen, S. M. Hvidegaard, M. Citterio, N. Karlsson, X. Fettweis, A. P. Ahlstrøm, S. B. Andersen, As D., R. S. Fausto // *Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS Bulletin)*. – 2019. – V. 43. – URL : <https://orbit.dtu.dk/en/publications/greenland-ice-sheet-mass-balance-assessed-by-promice-19952015> (data of application: 10.03.2022).
28. Castellazzi, P. Glacial Melt and Potential Impacts on Water Resources in the Canadian Rocky / P. Castellazzi, D. Burgess, A. Rivera, J. Huang, L. Longuevergne // *Water Resources Research*. – 2019. – V. 55, № 12. – P. 10191–10217.
29. Wouters, B. Global Glacier Mass Loss During the GRACE Satellite Mission (2002–2016) / B. Wouters, A. S. Gardner, G. Geir Moholdt // *Frontiers in Earth Science*. – 2019. – URL : <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00096> (data of application: 10.03.2022).
30. Khromova, T. Changes in the mountain glaciers of continental Russia during the twentieth to twenty-first centuries / T. Khromova, G. Nosenko, S. Nikitin, A. Muraviev, V. Popova, L. Chernova, V. Kidyaeva // *Regional Environmental Change*. – 2019. – V. 19. – P. 1229–1247.
31. Martin, B. The impact of climate change on snow cover and Alpine glaciers: consequences on water resources / B. Martin // *Water. Streams and rivers*. – 2019. – URL : <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/water/impact-of-climate-change-on-snow-cover-and-alpine-glaciers-consequences-on-water-resources/> (data of application: 10.03.2022).
32. Maurer, J. M. Acceleration of ice loss across the Himalayas over the past 40 years / J. M. Maurer, J. M. Schaefer, S. Rupper, A. Corley // *Science Advances*. – 2019. – V. 5, № 6. – URL : <https://advances.sciencemag.org/content/5/6/eaav7266> (data of application: 10.03.2022).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОРИСТОМ МАТЕРИАЛЕ
НА ОСНОВЕ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ**

Еремин Антон Владимирович

*доктор технических наук, доцент
заведующий кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Теплоэнергетического факультета,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
E-mail: a.v.eremin@list.ru*

Зинина Софья Алексеевна

*аспирант,
ассистент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Теплоэнергетического факультета,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
E-mail: sofazinina4@gmail.com*

Олатуйи Олувапелуми Джонсон

*аспирант кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
E-mail: olatuyi.oluwapelumi@gmail.com*

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00047,
<https://rscf.ru/project/21-79-00047>.

Предмет исследования: математическая модель теплопроводности в пористой плоской стенке, структура которой основана на трижды периодической минимальной поверхности Шона I-WP (TPMS).

Цель исследования: изучение протекания процесса теплопроводности в пористой пластине при заданной пористости. При этом материал, из которого изготовлена пористая пластина, представляет собой пластик PETG.

Методы исследования: в данной работе решение осуществлялось методом конечных разностей в ПО Mathcad.

Основные результаты исследования: получены распределения температуры по пространственной координате и во времени, а также распределение теплового потока во времени в зависимости от изменения коэффициента пористости пластины.

Ключевые слова: метод конечных разностей, пористая пластина, пористость, теплопроводность, трижды периодические минимальные поверхности.

**INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN A POROUS MATERIAL
BASED ON TRIPLY PERIODIC SURFACES OF MINIMAL ENERGY**

Anton V. Eremin

*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department "Industrial Heat Power Engineering",
Faculty of Heat and Power Engineering,
Samara State Technical University
Samara, Russia
E-mail: a.v.eremin@list.ru*

Sofya A. Zinina

*Postgraduate Student,
Assistant of the Department of "Industrial Heat Power Engineering",
Faculty of Heat and Power Engineering,
Samara State Technical University
Samara, Russia
E-mail: sofazinina4@gmail.com*

Olatui Oluwapelumi Johnson

*Postgraduate Student,
Department of "Industrial Heat Power Engineering",
Samara State Technical University
Samara, Russia
E-mail: olatuyi.oluwapelumi@gmail.com*

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 21-79-00047,
<https://rscf.ru/project/21-79-00047>.

The subject of research: is a mathematical model of thermal conductivity in a porous flat wall, the structure of which is based on the three times periodic minimal Seán surface I-WP(TPMS).

The purpose of research: to study the course of the heat conduction process in a porous plate at a given porosity. At the same time, the material from which the porous plate is made is PETG plastic.

Methods of research: in this work, the solution was carried out by the finite difference method in the Mathcad software.

Results of the research: temperature distributions were obtained along the spatial coordinate and in time, as well as the distribution of heat flow in time depending on the change in the plate porosity coefficient.

Key words: finite difference method, porous plate, porosity, thermal conductivity, tri-periodic minimal surfaces.

Введение

В настоящее время широкое применение во всех областях промышленности находят пористые композиционные материалы. Так, например, в работе [1] авторами используется класс материалов, представляющих собой металлоорганические каркасы (MOF). Благодаря своей сверхбольшой площади поверхности и регулируемой химической структуре эти пористые материалы находят применение в проведении таких процессов, как катализ и адсорбция. На сегодняшний день MOF не были широко представлены в промышленности из-за трудности изготовления формы. Однако развитие 3D-печати позволяет создать универсальный подход к фор-

мированию структуры MOF с последующим применением их в промышленности, например, в хранении и распределении газа. Особое внимание авторами уделяется 3D-печати MOFs, что позволит использовать данные наработки в области энергетики и защиты окружающей среды.

Под пористым материалом понимают тело, имеющее в своем объеме свободное пространство, представленное в виде пор или каналов. Притом геометрические размеры поры меньше размеров тела. Если рассматривать область применения таких материалов, то они наиболее распространены в качестве теплоизоляционного и строительного материала. Связано это, в первую очередь, со значением коэффициента эффективной теплопроводности, при этом λ сильно зависит от плотности материала и размера пор. Так, авторами работы [2] введено понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности условного сплошного шарового включения, заменяющего пору, а также проведен сравнительный анализ оценок истинного значения эффективного коэффициента в диапазоне изменения пористости.

Среди пористых материалов наибольший интерес представляют трижды периодические минимальные поверхности TPMS. Так, исследованию теплофизических и прочностных свойств таких поверхностей посвящены, например, работы [3–7].

Одним из возможных способов изучения свойств TPMS структур является математическое моделирование. При моделировании теплофизических процессов, протекающих в пористых структурах, возможно применение численных методов [8, 9], а также точных и приближенных аналитических методов. Например, в работах [10, 11] авторами предложено решение задачи теплопроводности аналитическими методами, основанными на введении дополнительных граничных условий и дополнительных граничных функций.

В данной статье приведено решение задачи теплопроводности для пористой пластины, изготовленной из пластика PETG (рис. 1). Решение осуществлялось методом конечных разностей в ПО Mathcad.

Формирование тпмп I-WP

На рис. 1 представлена пластина, структура которой основана на повторяющихся элементарных ячейках. Элементарные ячейки представляют собой трижды периодические минимальные поверхности I-WP. Толщина данным ячейкам придается с помощью формирования твердотельного слоя, ограниченного исходной минимальной поверхностью. В дальнейшем, последовательно соединяя полученные ячейки, возможно получение материала с заданными характеристиками, такими как объем тела, пористость материала и т. д.

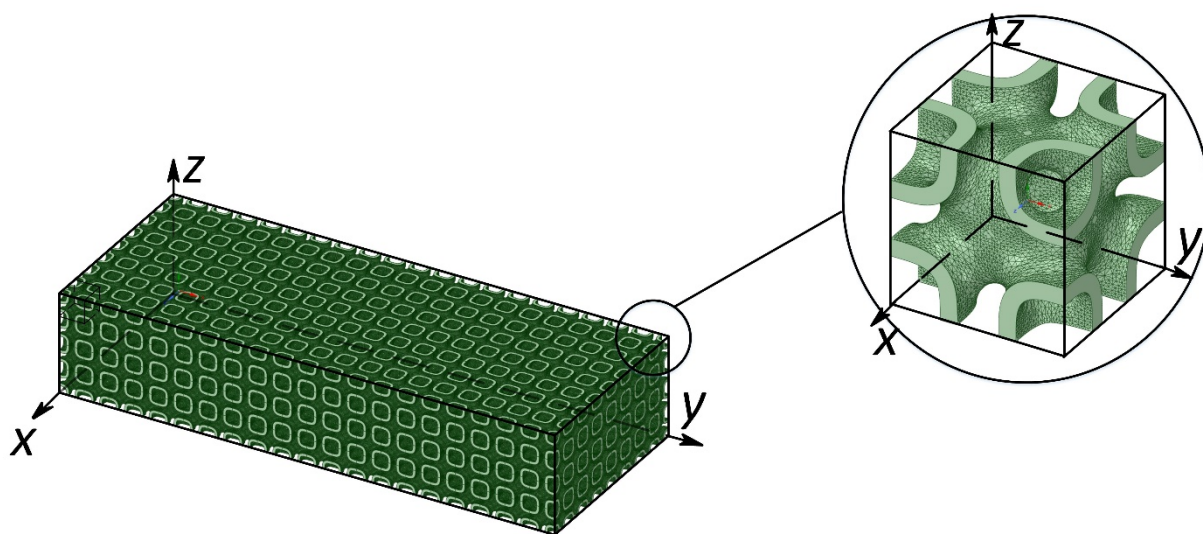


Рисунок 1 – Пористая пластина, имеющая упорядоченную структуру, основанную на TPMS I-WP

Постановка задачи

Общая запись уравнения теплового баланса имеет вид [12]:

$$c\rho \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = -\operatorname{div} \vec{q}, \quad (1)$$

где c – теплоемкость; ρ – плотность; T – температура; t – время; x – пространственная координата.

Согласно закону Фурье тепловой поток примет вид:

$$\vec{q} = -\lambda \operatorname{grad} T. \quad (2)$$

При постоянных теплофизических свойствах справедливо:

$$c\rho \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = -\lambda \operatorname{div}(\operatorname{grad} T). \quad (3)$$

Принимая во внимание, что $\operatorname{div}(\operatorname{grad} T) = \Delta T = \nabla^2 T$, то уравнение (3) примет следующий вид:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = a \Delta T, \quad (4)$$

где a – температуропроводность. Коэффициент температуропроводности пористого материала определяется следующим выражением:

$$a = \frac{\lambda(\varphi)}{c\rho(\varphi)} = \frac{0,1759 - 0,1776\varphi}{c\rho_m(1 - \varphi)}, \quad (5)$$

где $\lambda(\varphi) = 0,1759 - 0,1776\varphi$ – коэффициент теплопроводности, изменяющийся по линейному закону согласно [15]; φ – пористость материала, изменятся в пределах от 0 до 1; $\rho(\varphi) = \rho_m(1 - \varphi)$ – плотность пористой пластины, ρ_m – плотность материала. Свойства материала, из которого изготавливается пористая пластина, приняты в соответствии с работой [16].

Таблица 1 – Свойства материала пористой пластины

Материал	Теплоемкость, Дж/кг°C	Плотность, кг/м ³
PETG	1050	1300

Уравнение (4) в общем виде с учетом декартовой системы координат:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{0,1759 - 0,1776\varphi}{c\rho_m(1 - \varphi)} \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}. \quad (6)$$

Краевые условия для данной задачи имеют вид:

$$T(x,0) = T_0; \quad (7)$$

$$T(l,t) = T_{\text{ст}}; \quad (8)$$

$$T(0,t) = T_{\text{ст}}. \quad (9)$$

Результаты и обсуждение

Решение задачи (6)–(9) отыскивается путем осуществления метода конечных разностей [13, 14]. Метод конечных разностей заключается в построении пространственно-временной

сетки с шагами по координате Δx и по времени Δt . В данной задаче применялась сетка вида:

$$x_i = i\Delta x, \quad i = \overline{0, I}; \quad t_k = k\Delta t, \quad k = \overline{0, K}, \quad (10)$$

где I, K – число шагов по пространственной координате x и по времени t .

Согласно выбранному методу, на (10) вводятся сеточные функции $T_i^k = T(x_i, t_k)$. Приняв явную разностную схему решения для задачи (6)–(9), математическая постановка примет вид:

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} = \frac{0,1759 - 0,1776\varphi}{c\rho_m(1-\varphi)} \frac{T_{i-1}^k - 2T_i^k + T_{i+1}^k}{\Delta x^2}; \quad (11)$$

$$T_0^k = T_0; \quad (12)$$

$$T_l^k = T_{ст}; \quad (13)$$

$$T_i^0 = T_{ст}. \quad (14)$$

Заключение и выводы

Согласно уравнению (5), коэффициент температуропроводности зависит от пористости, теплоемкости и плотности материала. При постоянном теплоемкости c изменение пористости φ не приводит к изменению температуропроводности a , так как отношение $\frac{\lambda(\varphi)}{\rho(\varphi)}$ сохраняет постоянное значение (см. рис. 2), в связи с чем коэффициент пористости φ приводит не к изменению температурных кривых в теле, а лишь к изменению количества энергии, протекающего через тело. В настоящей работе исследовано температурное состояние пористой пластины для значений пористости φ в диапазоне 0,4...0,8.

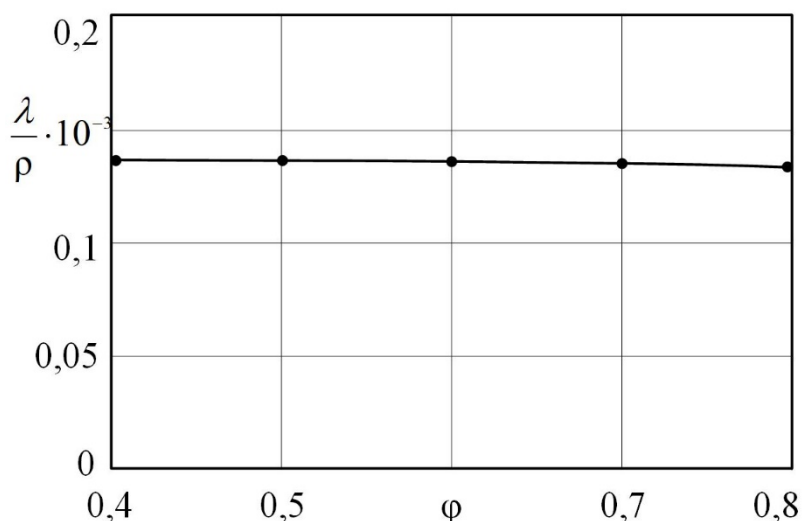


Рисунок 2 – Зависимость отношения $\frac{\lambda(\varphi)}{\rho(\varphi)}$ от пористости материала φ

На рис. 3 представлено численное решение задачи теплопроводности в пористой пластине при значении пористости $\varphi = 0,9$, а также при значениях температуры в начальный момент времени $T_0 = 20^\circ\text{C}$ и значении температуры на поверхности стенки $T_{ст} = 100^\circ\text{C}$. Процесс нагрева пористой пластины можно условно разделить на две стадии. На первой ста-

дии происходит прогревание пластины от поверхности к центру, при этом температура при $x = 0,005$ (т. е. в центре пластины) остается неизменной. Во второй стадии происходит нагрев пластины во всем исследуемом объеме.

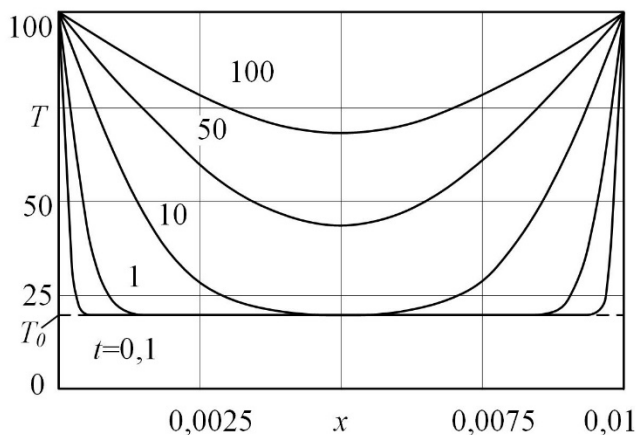


Рисунок 3 – Распределение температуры по координате x

На рис. 4 представлена зависимость распределения плотности теплового потока q в пористой пластине во времени от значений пористости ϕ . Пунктирной линией представлена плотность теплового потока для сплошного тела, то есть при пористости $\phi = 0$. Из анализа данного рисунка следует, что при варьировании коэффициента пористости возможно регулирование значения плотности теплового потока. Следовательно, на основании полученных зависимостей возможно создание пористого материала с заданными теплофизическими свойствами. Полученные результаты могут иметь практическое значение в изучении теплоизоляционных материалов, что связано с возможностью изменения толщины материала и регулирования проходящего теплового потока.

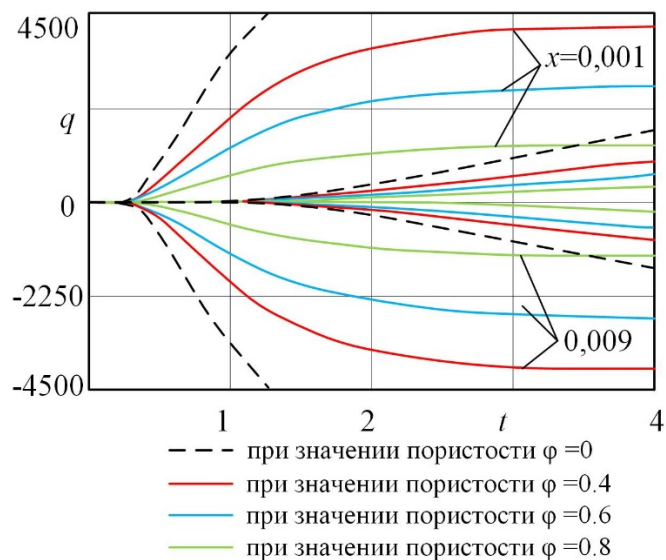


Рисунок 4 – Зависимость распределения теплового потока в пористой пластине от пористости материала

Литература

1. Kearns, E. R. 3D Printing of Metal-Organic Frameworks for Clean Energy and Environmental Applications / E. R. Kearns, R. Gillespie, D. M. D'Alessandro // Journal of Materials Chemistry A. – 2021.

2. Зарубин, В. С. Сравнительный анализ оценок коэффициента теплопроводности каркаса пористого твердого тела / В. С. Зарубин, С. В. Зарубин, Е. С. Сергеева. – Текст : непосредственный // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2017. – №. 7. – С. 15–30.
3. Yu, S. Investigation of functionally graded TPMS structures fabricated by additive manufacturing / S. Yu, J. Sun, J. Bai // *Materials & Design*. – 2019. – Т. 182. – P. 108021.
4. Asbai-Ghoudan, R. Analytical model for the prediction of permeability of triply periodic minimal surfaces / R. Asbai-Ghoudan, S. R. de Galarreta, N. Rodriguez-Florez // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. – 2021. – Т. 124. – P. 104804.
5. Eremin, A. V. Numerical Study of Hydrodynamic Characteristics of Porous Material Based on Schwarz P Surface / A. V. Eremin at al. // 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). –IEEE, 2021. – Pp. 1030–1032.
6. Дьяченко, С. В. Физико-механические свойства модельного материала с топологией трижды периодических поверхностей минимальной энергии типа гироид в форме куба / С. В. Дьяченко и др. – Текст : непосредственный // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88, № 7. – С. 1014.
7. Брагин, Д. М. Исследование теплоизоляционных свойств композиционного материала с структурой ТПМП / Д. М. Брагин, С. А. Зинина, А. В. Еремин. – Наукосфера, 2021. – № 11(2). – С. 120–124. – Текст : непосредственный.
8. Karmakar S. Numerical investigation of sensing and energy harvesting performance of 0-3 and triply periodic minimal surface-based K 0. 475 N a 0. 475 L i 0. 05 (N b 0. 92 T a 0. 05 S b 0. 03) O 3 and polyethylene piezocomposite: A comparative study / S. Karmakar // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2022. – С. 1045389X211063951.
9. Никитин, М. О. Оценка направленных свойств элементарного излучателя методом конечных разностей во временной области / М. О. Никитин // Современные проблемы радиофизики и радиотехники. – 2021. – С. 92. – Текст : непосредственный.
10. Eremin, A. Investigation of the temperature state of fuel elements with a given spatial distribution of heat sources / A. Eremin, K. Gubareva, A. Popov // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2022. – Т. 2456, №. 1. – P. 020015.
11. Kudinov, I. V. A method for obtaining analytical solutions to boundary value problems by defining additional boundary conditions / I. V. Kudinov, E. V. Kotova, V. A. Kudinov.
12. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высш. Школа, 1967. – Текст : непосредственный.
13. Еремин, А. В. Исследование процесса охлаждения многослойной пластины при несимметричных граничных условиях третьего рода / А. В. Еремин. – Текст : непосредственный // Молодежный научный вестник. – 2016. – № 10. – С. 68–73.
14. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров : учеб. пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченко. – М. : Высш. шк., 1994. – 544 с. – Текст : непосредственный.
15. Попов А. И. Определение эффективного коэффициента теплопроводности пористого материала с упорядоченной структурой, основанной на ТПМП I-WP / А. И. Попов, Д. М. Брагин, С. А. Зинина, А. В. Еремин, О. Д. Олатуйи. – Текст : непосредственный // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – Т. 7, № 3(25). – Ч. 1. – 2022. – С. 61–67.
16. Брагин, Д. М. Тепловой поток в пористой упорядоченной структуре на основе топологии SCHOEN'S I-WP(R) / Д. М. Брагин, С. А. Зинина, А. И. Попов, А. С. Шульга, А. В. Еремин. – Текст : непосредственный // *International Scientific Journal.Theoretical & Applied Science*. – 2022. – Volume 14. – P. 145–150.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРДИНАЛИСТСКОГО ПОДХОДА
ПРИ ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ**

Кутышкин Андрей Валентинович

*доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник научно-исследовательской
лаборатории имитационного моделирования,
Нижневартровский государственный университет
Нижневартовск, Россия
E-mail: avk_200761@mail.ru*

Предмет исследования: функционирование региональной системы Ханты-Мансийского автономного округа – Югра (ХМАО–Югра) по очистке выбросов от стационарных источников вредных веществ в атмосферу (РСОВ) за период с 2012–2020 гг.

Цель исследования: разработка на основе ординалистского подхода комплексного показателя – нелинейного динамического норматива для оценки результативности функционирования РСОВ на основе системного анализа ее функционирования.

Методы исследования: методом исследования является ординалистский подход при формировании нелинейного динамического норматива из показателей, которые характеризуют функционирование рассматриваемой системы. Последняя представляется как обобщенное предприятие (ОП), агрегирующее все подразделения предприятий региона, связанные с очисткой выбросов в атмосферу от вредных веществ.

Основные результаты исследования: установлено, что наибольшее влияние на результативность ОП оказывает нехватка в регионе производственных мощностей по очистке от вредных веществ выбросов в атмосферу. Это подтверждают и статистические данные за указанный период об отсутствии ввода соответствующих новых мощностей и объектов. Полученные оценки результативности функционирования РСОВ сопоставлялись с оценкой экологической ситуации в регионе по данному виду загрязнений, полученной на основе использования метода «декаплинга», оперирующего схожими по своей структуре переменными.

Ключевые слова: ординалистский подход, динамический норматив, загрязнение атмосферного воздуха, выбросы вредных веществ, очистка выбросов, стационарные источники.

**USING THE ORDINALIST APPROACH IN ASSESSING THE FUNCTIONING
OF THE REGIONAL SYSTEM
FOR CLEANING UP POLLUTING ATMOSPHERIC EMISSIONS**

Andrey V. Kutyshkin

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Chief Researcher, Simulation Research Laboratory,
Nizhnevartovsk State University
Nizhnevartovsk, Russia
E-mail: avk_200761@mail.ru*

Subject of research: is the functioning of the regional system of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra (KhMAO–Yugra) for the treatment of emissions from stationary sources of harmful substances into the atmosphere (RSOV) for the period from 2012–2020.

Purpose of research: to develop, based on the ordinalist approach, a complex indicator – a non-linear dynamic standard for assessing the effectiveness of the functioning of the RSOW based on a systematic analysis of its functioning.

Methods of research: an ordinal approach in the formation of a non-linear dynamic standard from indicators that characterize the functioning of the system under consideration. The latter is presented as a generalized enterprise (GE), aggregating all subdivisions of enterprises in the region associated with the purification of emissions from harmful substances into the atmosphere.

Main results of research: it was found that the greatest impact on the effectiveness of the GE is the lack of production capacities in the region for the purification of emissions from harmful substances into the atmosphere. This is confirmed by the statistical data for the specified period on the lack of commissioning of the corresponding new facilities and facilities. The obtained assessments of the effectiveness of the functioning of the RSOW were compared with the assessment of the environmental situation in the region for this type of pollution, obtained on the basis of the «decoupling» method, which operates with variables similar in structure.

Keywords: ordinalist approach, dynamic standard, atmospheric air pollution, emissions of harmful substances, purification of emissions, stationary sources.

Введение

В настоящее время оценка результативности функционирования региональной системы по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу опирается на использование как перечня допустимых концентраций (ПДК) этих веществ, так и на значения целевых показателей предельно допустимой генерации загрязнений атмосферы субъектами региональной экономики (стационарные источники) [1]. В Государственной программе РФ также обозначен и соответствующий минимально допустимый уровень их «обезвреживания». Непосредственно оценка предполагает формирование временных рядов измерений ПДК, статистических данных о величине выбросов в атмосферу стационарными источниками и величине уловленных и очищенных от вредных веществ выбросов. Вместе с тем, ограничиваясь только анализом этих данных, достаточно сложно охарактеризовать влияние тех организационно-технических процессов, которые реализуют различные предприятия для снижения негативного влияния региональной экономики на окружающую среду. Одним из подходов, позволяющим в определенной степени обеспечить решение данной задачи, является ординалистский подход, на основе которого разрабатывается динамический норматив (ДН), используемый для оценки функционирования региональной системы по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу (РСОВ) Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО Югра). Концепция использования динамического норматива для оценки устойчивости функционирования экономических систем, изложенная в работе [2], была развита в работах [3, 4] сначала применительно к оценке финансовой устойчивости фирмы, а в дальнейшем – и для оценки устойчивого развития региональной социально-экономической системы (РСЭС) [5, 6]. В последних работах в достаточно обобщенном и, в определенной степени, упрощенном варианте предложен ДН для оценки устойчивого развития экологической подсистемы РСЭС в целом. Экологическую подсистему РСЭС, в свою очередь, также можно рассматривать как совокупность подсистем, целевыми функциями которых являются устранение загрязнений воздуха, водных и земельных ресурсов, а также переработку бытовых и промышленных отходов. Для мониторинга и оценки реализации экологической подсистемой РСЭС этих функций целесообразно формировать индивидуальные динамические нормативы, приведенные в работах автора [7, 8]. В данной работе, в отличие от указанных ранее, рассматривается использование нелинейного динамического норматива (НДН) для оценки функционирования РСОВ, который построен на основе ее функционального анализа с использованием типовых элементов описания системных функций. Апробация разработанного НДН осуществлялась на данных о

функционировании указанной системы Ханты-Мансийского автономного округа за период с 2013 г. по 2020 г. Выбор такого интервала времени обусловлен наличием в открытом доступе статистических данных, характеризующих функционирование рассматриваемой системы.

Целью работы является разработка нелинейного динамического норматива для оценки экологического аспекта функционирования РСОВ на основе системного анализа ее результативности функционирования. При этом использовались показатели, характеризующие основные аспекты ее деятельности, и регистрируемые действующей системой государственной статистики и надзорными органами в области природопользования.

Методом проведенного исследования является упорядочение статистических показателей (ординалистский (порядковый) подход), характеризующих функционирование РСОВ, для формирования комплексного показателя (НДН) оценки уровня реализации этой системой своей основной системной функции. Идентификация и упорядочивание показателей НДН [3, 5, 7, 8] рассматриваемой системы может осуществляться на основании использования либо целевого подхода, либо построения специальной структурно-функциональной модели системы. Основными типовыми системными элементами/характеристиками, которые используются в системном анализе для описания функционирования систем, являются «функция», «вход», «процессор/преобразователь», «выход».

Можно считать, что основной системной функцией РСОВ, характеризующей ее назначение, является обеспечение роста доли или объемов очищенных от вредных веществ выбросов, отходящих от стационарных источников. Динамика выбросов от мобильных источников не учитывается. Это обусловлено тем, что выбросами от этих источников в первую очередь являются газообразные вещества, и их доля в общем объеме выбросов в атмосферу газообразных загрязняющих веществ региона крайне мала, что определяется его природно-климатическими особенностями. В качестве допущения примем, что все технологические подразделения стационарных источников, которые обеспечивают очистку их выбросов, можно представить как «обобщенное предприятие» (ОП), которое характеризуется суммарными значениями стоимости или мощности основных производственных фондов, численности занятых, текущими затратами и т. п. «Процессор/преобразователь» «входа» в «выход» представляет собой интеграцию таких элементов, оснащение процессора, катализатор, упорядоченность и субъективный фактор. Структура модели может меняться в зависимости от типа решаемой задачи и наличия информации для характеристики ее элементов. В таблице 1 приведены показатели, которые, по мнению автора, характеризуют элементы функциональной модели рассматриваемого обобщенного предприятия. Как и любая система, РСОВ под влиянием внешнего окружения и изменений внутренних факторов может функционировать в различных режимах. Для принятой ФМ обобщенного предприятия, соответствующего рассматриваемой системе нормативным режимом (НР) функционирования, считается режим, для которого темпы роста значений показателей таблицы 1 упорядочены следующим образом [3, 7, 8]:

$$T(p_1) > T(p_2) > T(p_3) > T(p_4) > T(p_5) > T(p_6), \quad (1)$$

где $T(\dots)$ – темп роста соответствующего показателя p_i , $p_i = 1, \dots, 6$.

Выражение (1) называют обобщенным динамическим нормативом. Поддержание обозначенного в (1) порядка $T(\dots)$ на длительном интервале времени реальной деятельности данной системы обеспечит наилучшее выполнение ее системной функции.

Если фактический порядок (ФП) темпов роста показателей $T(p_i)$ при функционировании РСОВ совпадает с нормативным (1) (НП), то это означает, что моделируемый системный параметр («выход») находится в наилучшем динамическом состоянии, т. е. имеет максимальное значение. Чем больше расходятся фактическое (фактический режим, ФР) и нормативное упорядочения (нормативный режим, НР) показателей, включенных в НДН, тем ниже результативность системной функции.

Показатели элементов функциональной модели обобщенного предприятия по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу ХМАО–Югра

Показатель	Вид показателя	Характеристика показателя
p_1	Выход	Объем уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферный воздух веществ выбросов, отходящих от стационарных источников, тыс. тонн в год.
p_2	Вход	Объем выбросов, загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. тонн в год.
p_3	Оснащение	Стоимость основных производственных фондов (основной капитал) для обезвреживания выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ в ценах текущего года, млн руб.
p_4	Катализатор	Суммарный объем переработанного попутного нефтяного газа, млрд куб. м в год
p_5	Субъективный фактор	Затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды организаций в части охраны атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата в ценах текущего года, млн руб.
p_6	Фактор упорядоченности	Доля нарушений при проведении государственного регионального экологического надзора в области охраны атмосферного воздуха, %

В основе как линейного, так и нелинейного динамических нормативов лежит построение матрицы $M[\text{ЭП}]$ нормативного упорядочения темпов роста значений показателей p_i (1), которое характеризует нормативный режим (НР) функционирования рассматриваемого ОП [3, 7, 8]

$$M[\text{ЭП}] = \{e_{ij}\}, e_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } T_H(p_i) > T_H(p_j), \text{ в том числе и для } i = j; \\ -1, \text{ если } T_H(p_i) < T_H(p_j); \\ 0, \text{ если нормативное упорядочивание} \\ \text{ между } T_H(p_i) \text{ и } T_H(p_j) \text{ не установлено.} \end{cases} \quad (2)$$

Здесь e_{ij} – элемент матрицы $M[\text{ЭП}]$; $T_H(p_i)$, $T_H(p_j)$ – нормативно упорядоченные темпы изменения показателей p_i и p_j соответственно.

Для каждого года t интервала времени $[t_0, t_k]$ функционирования наблюдаемой системы формируются матрицы $M_t[\text{ФП}]$ упорядочения темпов роста $T_f(p_{i,t})$ показателей НДН, соответствующих фактического режиму функционирования (ФР) рассматриваемого ОП [3, 7, 8]:

$$M_t[\text{ФП}] = \{f_{ij,t}\}, f_{ij,t} = \begin{cases} 1, \text{ если } T_f(p_{i,t}) > T_f(p_{j,t}), \text{ в том числе и для } i = j; \\ -1, \text{ если } T_f(p_{i,t}) < T_f(p_{j,t}); \\ 0, \text{ если нормативное упорядочивание} \\ \text{ между } T_f(p_{i,t}) \text{ и } T_f(p_{j,t}) \text{ не установлено.} \end{cases} \quad (3)$$

Далее формируется матрица $B_t = \{b_{ij,t}\}$ совпадения $T_H(p_i)$ и $T_f(p_{i,t})$, элементы которой определяются следующим выражением:

$$b_{ij,t} = \begin{cases} 1, \text{ если } e_{ij} = 1 \text{ одновременно с } f_{ij,t} \geq 0 \text{ или} \\ e_{ij} = -1 \text{ одновременно с } f_{ij,t} \leq 0; \\ 0, \text{ во всех остальных случаях.} \end{cases} \quad (4)$$

Близость матриц $M[\text{ЭП}]$ и $M_t[\text{ФП}]$ определяется зависимостью:

$$MS_t = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij,t}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |e_{ij}|}, t \in [t_0, t_N], n = 6. \quad (5)$$

Очевидно, что величина MS_t нормирована, т. е. $0 \leq MS_t \leq 1$. Это означает, что при $MS_t = 1$ имеет место полное совпадение матриц $M[\text{ЭП}]$ и $M[\text{ФП}]$, т. е. нормативный и фактический режим функционирования ОП совпадают. В том случае, когда значение MS_t приближается к «0», то режим фактический функционирования ОП характеризуется снижением результативности реализации его основной системной функций.

Актуальна также и оценка волатильности ФР функционирования рассматриваемого ОП, которая определяется при помощи матрицы волатильности $D_t = \{d_{ij,t}\}$ значений показателей НДН:

$$d_{ij,t} = \begin{cases} 1, \text{ если } b_{ij}^{omq} > b_{ij}^{\delta az} \text{ и } b_{ij,t+1} > b_{ij,t}; \\ -1, \text{ если } b_{ij}^{omq} < b_{ij}^{\delta az} \text{ и } b_{ij,t+1} < b_{ij,t}; \\ 0, \text{ во всех остальных случаях.} \end{cases} \quad (6)$$

Здесь b_{ij}^{omq} , $b_{ij}^{\delta az}$ – значения b_{ij} для отчетного $t+1$ и базисного t года временного интервала $[t_0, t_N]$ функционирования ОП.

Матрица D_t отражает направленность изменений $T_f(p_{i,t})$. Если в базисном году t $T_f(p_{i,t})$ не совпадает с $T_n(p_i)$, а в отчетном году $t+1$ это несоответствие устраняется, то $d_{ij,t+1} = 1$. В противоположной ситуации $d_{ij,t+1} = -1$. Количественную оценку W_t волатильности ФР рассматриваемого ОП предлагается определять выражением:

$$W_t = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij,t}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |d_{ij,t}|}, t \in [t_0, t_N], n = 6. \quad (7)$$

Оценка W_t характеризует приближение или удаление ФР функционирования ОП к НР, заданного принятым НДН, вследствие изменений значений показателей НДН. Диапазон изменений W_t от «-1» до «+1».

Для оценки влияния динамики значений отдельного показателя p_i НДН на ФР ОП используется матрица нарушений $V_t = \{v_{ij,t}\}$:

$$v_{ij,t} = \begin{cases} 1, \text{ если } e_{ij} = 1 \text{ одновременно с } f_{ij,t} < 0 \text{ или} \\ e_{ij} = -1 \text{ одновременно с } f_{ij,t} > 0; \\ 0, \text{ во всех остальных случаях.} \end{cases} \quad (8)$$

Тогда влияние динамики значений l -го показателя (p_l) НДН на «приближение» ФР к НР определяется при учете $v_{ij,t} = v_{ji,t}$ зависимостью:

$$S_{l,t} = \frac{\sum_{j=1}^n v_{lj,t}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |e_{ij}|}. \quad (9)$$

Результаты и обсуждение

Значения показателей, включенных в сформированный динамический норматив (1), рассматриваемой региональной системы ХМАО-Югры по очистке выбросов вредных веществ в

атмосферу за период 2013–2020 гг. приведены в таблице 2 [9–12]. Показатель «Оснащение» (p_3) – «Стоимость основных производственных фондов (основной капитал) для обезвреживания выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ» в связи с отсутствием этих данных в открытых источниках был заменен на показатель, значения которого равны сумме «Материальных затрат организаций на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата в ценах текущего года» и «Затрат организаций на капитальный ремонт основных производственных фондов для улавливания и обезвреживания вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух в ценах текущего года» [13]. По этой же причине в НДН не был включен показатель «Инвестиции в основной капитал, направленные организациями (без субъектов малого предпринимательства) на охрану на охрану атмосферного воздуха», т. к. инвестиции осваиваются в течение некоторого промежутка времени и для идентификации того же распределенного временного лага их освоения необходимы данные о динамике непосредственно стоимости основного капитала обобщенного предприятия. В качестве «Субъективного фактора» (p_5) использовался показатель «Затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды организаций в части охраны атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата в ценах текущего года». Стоимостные показатели p_3 и p_5 были приведены к сопоставимым ценам 2013 г. В таблице 3 приведены расчетные значения величин MS_t (5) и W_t (7), полученные на основании данных таблицы 2.

Таблица 2

Значения показателей нелинейного динамического норматива функционирования региональной системы ХМАО–Югры по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу за период 2013–2020 гг.

Год	Значения показателей динамического норматива					
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6
2013	2,10	83,102	4 343 045,08	24,8	818 805,00	0,69
2014	1,20	56,899	4 534 139,06	34,7	704 621,07	0,59
2015	1,40	52,195	4 706 462,38	33,8	660 026,01	0,44
2016	6,60	58,146	5 168 745,24	35,5	627 377,98	0,46
2017	10,00	57,517	5 922 286,27	35,0	564 700,76	0,48
2018	16,00	62,185	6 708 647,44	35,0	638 450,89	0,53
2019	17,40	52,903	7 403 126,62	36,6	560 975,02	0,49
2020	17,20	51,998	8 185 133,69	33,2	547 458,90	0,31

Таблица 3

Расчетные значения величин MS_t (5) и W_t (7) для периода 2013–2020 гг.

	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MS_t	0,4	0,4	0,733	0,8	0,667	0,6	0,667	0,733
W_t	-	0	0,667	0,111	-0,400	-0,111	0,111	0,25

Расчетные значения MS_t (табл. 3) характеризуют отклонения режима функционирования РСОВ ХМАО–Югры от режима, определяемого принятым НДН, особенно в 2013 г. и 2014 г. В дальнейшем значения MS_t стабилизируются на достаточно высоком уровне, что, в конечном итоге, характеризуется повышением результативности реализации рассматриваемой системой ее основной функции. Динамика значений величины W_t (таблица 3) указывает, что фактический режим функционирования данной системы отличается достаточно высокой волатильностью и не имеет какого-либо устойчивого тренда.

В таблице 4 представлены расчетные значения величины $S_{i,t}$ (9), характеризующие индивидуальное влияние показателей динамического показателя на приближение фактического режима функционирования рассматриваемой системы к ее нормативному режиму, соответ-

ствующему НДН. Достаточно нейтральное влияние на динамику значений MS_t оказывают показатели p_1 и p_3 (табл. 4), которые характеризуют наличие и результативность использования ресурсов, показатель которых при определенных допущениях был введен для замены стоимости/мощности основных производственных фондов данного ОП. Таким образом, можно считать, что имеющиеся ОПФ в целом используются достаточно результативно.

Таблица 4

Оценки индивидуального $S_{i,t}$ (9) влияния показателей НДН на режим функционирования
региональной системы ХМАО-Югры по очистке выбросов вредных веществ в период
2013–2020 гг.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
p_1	0	-0,102	0,060	0,032	0	0	-0,040	0
p_2	0,143	0,051	0	0,065	-0,042	-0,068	-0,040	0,107
p_3	-0,143	0	0,179	-0,032	0	0	-0,040	0
p_4	0	0	0,032	-0,042	-0,034	0,119	-0,071	0
p_5	-0,071	-0,153	0,119	0	0	-0,034	0,079	-0,036
p_6	0,143	0,102	0	-0,032	-0,083	0,034	0	0,071

Вторым по нейтральности показателем, согласно расчетам, является показатель p_4 , который характеризует динамику объемов переработанного попутного нефтяного газа. Это обусловлено тем, что уже в 2018 г. уровень его переработки по округу на предприятиях нефтедобычи превысил 90 %. Изменения показателя p_6 также положительно влияют на изменения значений MS_t . Это соответствует общей устойчивой тенденции снижения количества нарушений по округу природоохранного законодательства в данной сфере. Влияние показателя p_5 – затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды организаций (субъективный фактор) носит негативный характер, но степень его влияния к концу рассматриваемого периода значительно снижается. Наибольшее же как положительное, так и отрицательное влияние на динамику значений MS_t оказывает показатель p_2 – объемы выбросов, загрязняющих атмосферный воздух веществ, что говорит о наличии определенного дисбаланса между имеющимися и необходимыми региону ОПФ по очистке выбросов стационарных источников в атмосферу. Это косвенно подтверждают статистические данные [9–12], согласно которым за рассматриваемый период новых мощностей и объектов для очистки выбросов, загрязняющих атмосферный воздух, введено не было. Если сравнить нормативные значения выбросов вредных веществ от стационарных источников $[Q_w]$ и объемов, уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферный воздух веществ $[U_w]$ [1], для ХМАО-Югры с 2013 г. по 2020 г., представленные в таблице 5, и соответствующие значения p_1 и p_2 , то можно констатировать, что фактические значения выбросов p_2 , загрязняющих атмосферный воздух, существенно меньше $[Q_w]$. Вместе с тем, существенно меньше $[U_w]$ и значение показателя p_1 . Таким образом, это согласуется с ранее сделанным выводом о недостаточном количестве основных производственных фондов предприятий, работающих в данной сфере.

Таблица 5

Нормативные значения выбросов вредных веществ от стационарных источников $[Q_w]$ и
объемов, уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферный воздух веществ $[U_w]$,
для ХМАО-Югры в период с 2013 по 2020 гг.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$[Q_w]$	655,94	613,34	585,57	571,51	539,39	521,90	505,57	456,95
$[U_w]$	63,16	43,24	39,67	44,19	43,83	47,70	40,87	40,25

Полученные результаты целесообразно сопоставить с оценками состояния окружающей среды региона по данному виду загрязнения, основанными на подходах, которые в настоящее время достаточно часто используются при исследованиях устойчивого эколого-экономического развития регионов [10–13]. Наиболее близким к предложенному в данной

работе подходу к оценке состояния и функционирования рассматриваемой региональной системы по очистке выбросов вредных веществ, по мнению автора, является метод оценки для региона эффекта «декаплинга» [14, 15]. Близость обусловлена только структурой переменных, которые используются в данном методе, а именно – темпы роста показателей загрязнения природной среды региона и валового регионального продукта (ВРП). Эффект «декаплинга» предполагает «расщепление» темпов роста ВРП по темпам роста загрязнения окружающей среды и накопления отходов производства и потребления, т. е. потребления природных ресурсов. При расчете модифицированного коэффициента «декаплинга» DI'_t [15] используются коэффициенты прироста объемов загрязнения ΔTR_t и ВРП – ΔTY_t :

$$DI'_t = \Delta TR_t - \Delta TY_t. \quad (10)$$

На основании соотношений значений DI'_t , ΔTR_t , ΔTY_t и их знаков в указанной работе выделено и охарактеризовано шесть возможных эколого-экономических состояний региона (N_S). В таблице 6 приведены расчетные значения DI'_t для рассматриваемой региональной системы по очистке выбросов вредных веществ ХМАО-Югры при показателе загрязнения «объем выбросов, загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, Q_w » (тыс. т.) [11–12]. Расчеты проводились по значениям ВРП [9–11] ХМАО-Югры – Y_t в ценах 2013 г. Согласно классификации эколого-экономических состояний N_S , приведенной в работе [15] на основании расчетных значений DI'_t , можно сделать заключение, что превалирует отсутствие эффекта «декаплинга» ($N_S = 4, 5, 6$), когда присутствуют положительные темпы прироста выбросов вредных веществ в атмосферу на фоне отрицательных темпов роста ВРП, или отрицательный прирост темпов выбросов реализуется на фоне более интенсивного падения величины ВРП.

Таблица 6

Расчетные значения коэффициента DI'_t , характеризующего состояние природной среды ХМАО-Югры по показателю загрязнения атмосферного воздуха выбросами от стационарных источников

Год, t	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$\Delta Q_{w,t}$	0,014	-0,009	0,224	0,103	-0,093	0,050	-0,203	0,211
ΔTY_t	0,019	-0,013	-0,005	-0,006	0,025	0,029	-0,029	-0,066
$DI'_{t,Y}$	-0,005	0,004	0,229	0,109	-0,118	0,021	-0,174	0,277
N_S	2	5	6	6	3	4	3	6

Относительный эффект «декаплинга» наблюдается реже ($N_S = 2, 3$) и характеризуется снижением экологической нагрузки на окружающую среду при опережающем росте ВРП. Таким образом, проведенный анализ присутствия эффекта «декаплинга» в экономике ХМАО-Югры в части влияния выбросов вредных веществ в атмосферу на окружающую среду показывает, что снижение этого влияния при существующих основных производственных фондах в этой области достаточно проблематично.

Заключение и выводы

На основе процессного подхода разработан нелинейный динамический норматив для оценки и мониторинга функционирования региональной системы ХМАО-Югры по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу. Указанная система рассматривалась как обобщенное предприятие, агрегирующее все субъекты экономики региона или их подразделения, реализующие данный вид деятельности. В состав ДН включены показатели, отражающие ключевые аспекты функционирования предприятия, регистрируемые действующей системой государственной статистики и профильными службами надзора за природоохранной деятельностью регионального уровня. ДН определяет нормативный режим функционирования

ОП, который обеспечивает реализацию предприятием своей основной функции. Отклонение фактического режима функционирования ОП от нормативного характеризует не только комплексную оценку результативности его деятельности, но позволяет выявить те показатели НДН, изменения значений которых оказывают наибольшее влияние на сближение или расхождение ФР функционирования ОП с НР. Установлено, что наибольшее влияние на отклонение ФР ОП от нормативного оказывает динамика показателя объемов выбросов загрязняющих веществ стационарными источниками. Динамика значений остальных показателей НДН характеризует достаточно результативное использование ОП соответствующих ресурсов. Это указывает на то, что региональной системе ХМАО-Югры по очистке выбросов вредных веществ в атмосферу не хватает основных производственных фондов. Это подтверждают статистические данные об отсутствии ввода новых профильных производственных объектов в данной области за рассматриваемый период времени. Достаточно сложную ситуацию с выбросами загрязняющих веществ стационарными источниками в регионе характеризуют и результаты оценки наличия эффекта «декаплинга» по этому виду загрязнений, которые показали практически полное отсутствие данного эффекта, что соответствует устойчивому росту загрязнения на фоне стагнации значений валового регионального продукта. Таким образом, можно говорить о возможности использования непараметрических моделей на основе ординалистского подхода для анализа функционирования систем, аналогичных рассмотренной.

Литература

1. Государственная Программа РФ «Охрана окружающей среды» на 2012 – 2020 годы (Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 326). – Текст : электронный. – URL : https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/3ac/Gosprogramma_OOS.pdf?ysclid=148q7q4vhs345836470 (дата обращения: 15.09.2022)
2. Сыроежин, И. М. Совершенствование системы показателей эффективности и качества : монография / И. М. Сыроежкин. – М. : Экономика, 1980. – 192 с. – Текст : непосредственный.
3. Погостинская Н. Н. Инновационные методы экономического анализа в управлении предприятием / Н. Н. Погостинская, Ю. А. Погостинский, Н. В. Коновалов – Текст : непосредственный // Известия академии аграрного образования. – 2012. – № 14 (Т. 2). – С. 221–231.
4. Тонких, А. С. Моделирование результативного управления корпоративными финансами / А. С. Тонких. – Екатеринбург – Ижевск : ИЭ УрО РАН, 2006. – 200 с. – ISBN 5-7036-0254-01. – Текст : непосредственный.
5. Погостинская Н. Н. Измерение стратегии социально-экономического развития арктической зоны Российской Федерации / Н. Н. Погостинская, Ю. А. Погостинский, М. С. Власова. – Текст : непосредственный // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 21–33.
6. Третьякова, Е. А. Оценка показателей устойчивого развития регионов России / Е. А. Третьякова, М. Ю. Осипова – Текст : непосредственный // Проблемы прогнозирования. – 2018. – № 2 (167). – С. 24–35.
7. Кутышкин, А. В. Оценка функционирования региональной системы обращения с отходами потребления и производства / А. В. Кутышкин. – Текст : непосредственный // Отходы и ресурсы. – 2022. – Т. 9, № 2.
8. Кутышкин, А. В. Об использовании динамического норматива для оценки функционирования региональной системы очистки земель, загрязненных производственными отходами / А. В. Кутышкин – Текст: непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 12. – С. 61–67.
9. Статистический ежегодник : стат. сб. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра : в 2-х ч. – Ч II. (2017–2019) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – Тюмень, 2020. – 278 с.

10. Статистический ежегодник : стат. сб. : в 2-х частях. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. – Ч I. (I) (1990–2016) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – Тюмень, 2020. – 374 с.
11. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра в цифрах : крат. стат. сб. / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – Тюмень, 2021.
12. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. – Текст : электронный. – URL : <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/> (дата обращения: 11.04.2022).
13. Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды и экологических платежах. – Текст : электронный. – URL : <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 18.10.2022).
14. Яшалова, Н. Н. Анализ проявления эффекта декаплинга в эколого-экономической деятельности региона / Н. Н. Яшалова – Текст: непосредственный // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 9 (366). – С. 54–60.
15. Аникина, И. Д. Эколого-экономическое состояние регионов: совершенствование методологии и методики оценки / И. Д. Аникина, А. А. Аникин – Текст: непосредственный // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2019. – № 4 (Т. 21). – С. 141–151.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И ИХ ВЫЧИСЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ MATLAB**

Самарина Ольга Владимировна

*кандидат физико-математических наук, доцент,
руководитель инженерной школы цифровых технологий,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: O_Samarina@ugrasu.ru*

Самарин Валерий Анатольевич

*кандидат технических наук, доцент,
доцент инженерной школы цифровых технологий,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: V_Samarin@ugrasu.ru*

Предмет исследования: одноканальное полутонное цифровое изображение, инварианты второго порядка относительно группы движений и растяжений.

Цель исследования: определить новую группу инвариантов одноканального цифрового изображения относительно сдвигов, поворотов и растяжений цифрового изображения.

Методы и объекты исследования: объектом исследования являются одноканальные изображения. Разработанные вычислительные алгоритмы основаны на комплексном использовании аналитических и геометрических методов исследования, теории инвариантов и вейвлетов.

Основные результаты исследования: разработана вычислительная схема определения группы инвариантных характеристик относительно таких преобразований цифрового изображения как сдвиги, повороты и растяжения.

Ключевые слова: одноканальное цифровое изображение, инварианты второго порядка.

**DETERMINATION OF INVARIANT CHARACTERISTICS
FOR DIGITAL IMAGE AND THEIR CALCULATION IN THE MATLAB SYSTEM**

Olga V. Samarina

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Head of Engineering school of Digital Technologies,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: O_Samarina@ugrasu.ru*

Valery A. Samarin

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor school of Digital Engineering,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: V_Samarin@ugrasu.ru*

Subject of research: single-channel digital image, second-order invariants to movements and stretching.

Purpose of research: to determine a new group of invariants of a single-channel digital image with respect to shifts, rotations and stretching.

Methods and objects of research: the object of research is single-channel images. The developed computational algorithms are based on the complex use of analytical and geometric research methods, the theory of invariants and wavelets.

Main results of research: a computational scheme for determining the group of invariant characteristics with respect to such digital image transformations as shifts, rotations and stretching has been developed.

Keywords: single-channel digital image, second-order invariants.

Введение

Инвариантные характеристики изображения являются точным математическим инструментом, позволяющим решать широкий класс задач обработки и анализа одноканальных и многоканальных изображений, таких как распознавание образов, поиск объектов по образцу и другие. Инварианты способны передавать характерные особенности изображения и выступать в роли существенных признаков при преобразованиях первичного изображения, таких как сдвиг, поворот, масштабирование, изменения контрастности и яркости. Также инвариантные характеристики характеризуются способностью к обобщению, что в свою очередь является необходимым качеством для моделей и методов искусственного интеллекта, нейронных сетей.

В настоящее время исследования, направленные на поиск и исследование инвариантных характеристик цифрового изображения, являются достаточно актуальными. Они получают развитие в областях распознавания текста, анализа 3D-изображений [1–3]. Однако на практике реальные цифровые содержат помехи, неточности и шумы. Кроме того, цифровые изображения не являются непрерывными, они определяются значениями пикселей в дискретных координатах. Таким образом перед исследователями встает задача определения методов и моделей обработки цифрового дискретного изображения и определения для данного изображения ряда устойчивых инвариантных характеристик [4].

В данной работе представлены инварианты второго порядка (числовые функции, содержащие производные первого и второго порядков) относительно группы аффинных преобразований, а также яркости, контрастности изображения. Использование в методах обработки и анализа цифровых изображений инвариантов второго порядка позволяет найти достаточно устойчивую относительно помех и шума изображения числовую характеристику и существенно снизить сложность метода, что является ощутимым преимуществом при практической реализации алгоритма.

Результаты и обсуждение

Представим цифровое полутоновое изображение в виде непрерывной функции $f(x, y)$. Будем считать, что данная функция цифрового изображения дважды непрерывно дифференцируема. Тогда справедливо разложение Тейлора второго порядка с произвольной точкой рассматриваемой области в виде центра. При помощи простых преобразований любую точку области можно перевести в начало координат. Тогда функция цифрового полутонового изображения будет иметь вид:

$$f(x, y) = a + p_1 x + p_2 y + \frac{1}{2} (b_{(2,0)} x^2 + 2b_{(1,1)} xy + b_{(0,2)} y^2) + o(x^2 + y^2)$$

В данной записи коэффициенты разложения представляют собой значения функции, дифференциалов первого и второго порядка в начале координат:

$$a = f(0,0), \quad p_1 = \frac{\partial f}{\partial x}(0,0), \quad p_2 = \frac{\partial f}{\partial y}(0,0),$$

$$b_{(2,0)} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(0,0), \quad b_{(1,1)} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(0,0), \quad b_{(0,2)} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(0,0).$$

Представим, что цифровое изображение претерпело некоторые преобразования (такие как сдвиг, масштабирование, поворот). Обозначим эту группу преобразований как G . В таком случае можем записать

$$G(\lambda, \rho, \phi): f(x, y) \rightarrow e^\lambda f(e^\rho (x \cos(\phi) - y \sin(\phi)), e^\rho (x \sin(\phi) + y \cos(\phi))).$$

В этой записи коэффициент e^ρ соответствует преобразованию плоскости цифрового изображения, угол ϕ – повороту, а множитель e^λ – можно описать как коэффициент соответствующий частотному диапазону данного изображения, а также как фактор поглощения среды, действующий в окрестности рассматриваемой точки.

Определение. Числовая функция I нетождественно равная константе является инвариантом цифрового изображения порядка k , если она сохраняет свое значение под действием преобразований группы G .

Замечание. Размерность пространства инвариантов определяется по формуле:

$$\dim I = \dim J_3^k - \dim G.$$

Заметим, что группа преобразований $G(\lambda, \rho, \phi)$ действует в пространстве параметров $t = \{a, p_1, p_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}\}$ и образует трехмерную коммутативную группу Ли

$$G(\lambda_1, \rho_1, \phi_1) \circ G(\lambda_2, \rho_2, \phi_2) = G(\lambda_1 + \lambda_2, \rho_1 + \rho_2, \phi_1 + \phi_2)$$

Для произвольной функции Φ параметров $\Phi(a, p_1, p_2, b_{11}, b_{22}, b_{12})$ детерминированы инфинитезимальные дифференциальные операторы $X_\lambda \Phi$, $X_\rho \Phi$, $X_\phi \Phi$

Теорема 1. Дифференциальные операторы $X_\lambda \Phi$, $X_\rho \Phi$, $X_\phi \Phi$ представимы в следующем виде

$$X_\lambda \Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial a} a + \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_2 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} b_{11} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} b_{22} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} b_{12},$$

$$X_\rho \Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_2 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} 2b_{11} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} 2b_{22} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} 2b_{12},$$

$$X_\phi \Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_2 - \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} 2b_{12} - \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} 2b_{12} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} (-b_{11} + b_{22}).$$

Доказательство:

Параметр t преобразуется по формуле $t \rightarrow \Omega(t)$, т.е.

$$a \rightarrow a e^\lambda, \quad p_1 \rightarrow e^{\lambda+\rho} p_1 \cos(\phi) + e^{\lambda+\rho} p_2 \sin(\phi),$$

$$p_2 \rightarrow -p_1 e^{\lambda+\rho} \sin(\phi) + p_2 e^{\lambda+\rho} \cos(\phi),$$

$$\begin{aligned} b_{11} &\rightarrow e^{2\rho+\lambda} b_{11} \cos^2(\phi) + e^{2\rho+\lambda} b_{12} \sin(\phi) \cos(\phi) - e^{2\rho+\lambda} b_{22} \cos^2(\phi) + e^{2\rho+\lambda} b_{22}, \\ b_{12} &\rightarrow e^{2\rho+\lambda} 2b_{12} \cos^2(\phi) + e^{2\rho+\lambda} b_{22} \cos(\phi) \sin(\phi) - e^{2\rho+\lambda} b_{11} \sin(\phi) \cos(\phi) - e^{2\rho+\lambda} b_{12}, \\ b_{22} &\rightarrow e^{2\rho+\lambda} b_{11} - e^{2\rho+\lambda} b_{11} \cos^2(\phi) - 2e^{2\rho+\lambda} b_{12} \sin(\phi) \cos(\phi) + e^{2\rho+\lambda} b_{22} \cos^2(\phi) \end{aligned}$$

Воспользовавшись данным преобразованием, найдем значения следующих дифференциальных операторов:

$$\begin{aligned} \left. \frac{d}{d\lambda} \Phi(\Omega(t)) \right|_{\lambda=0, \rho=0, \phi=0} &= X_\lambda \Phi, \\ \left. \frac{d}{d\rho} \Phi(\Omega(t)) \right|_{\lambda=0, \rho=0, \phi=0} &= X_\rho \Phi, \\ \left. \frac{d}{d\phi} \Phi(\Omega(t)) \right|_{\lambda=0, \rho=0, \phi=0} &= X_\phi \Phi. \end{aligned}$$

Выполнив вычисления с учетом указанных выше начальных условий, получим:

$$\begin{aligned} X_\lambda \Phi &= \frac{\partial \Phi}{\partial a} a + \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_2 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} b_{11} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} b_{22} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} b_{12}, \\ X_\rho \Phi &= \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_2 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} 2b_{11} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} 2b_{22} + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} 2b_{12}, \\ X_\phi \Phi &= \frac{\partial \Phi}{\partial p_1} p_2 - \frac{\partial \Phi}{\partial p_2} p_1 + \frac{\partial \Phi}{\partial b_{11}} 2b_{12} - \frac{\partial \Phi}{\partial b_{22}} 2b_{12} + \frac{\partial F}{\partial b_{12}} (-b_{11} + b_{22}) \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Теорема 2. Данные функции являются инвариантами цифрового изображения второго порядка относительно группы преобразований, включающих в себя движения, растяжения и калибровку цифрового полутонного изображения:

$$\begin{aligned} Inv_1 &= \frac{(b_{11} + b_{22})(b_{11}p_1^2 + 2b_{12}p_1p_2 + b_{22}p_2^2)}{(p_1^2 + p_2^2)(b_{11}^2 + 2b_{12}^2 + b_{22}^2)}, \\ Inv_2 &= \frac{(b_{11} + b_{22})(b_{11}p_2^2 - 2b_{12}p_1p_2 + b_{22}p_1^2)}{(p_1^2 + p_2^2)(b_{11}^2 + 2b_{12}^2 + b_{22}^2)}, \end{aligned}$$

Доказательство.

Проверяется непосредственно.

Замечание. Для представленных инвариантов справедлива следующая оценка:

$$\frac{1-\sqrt{2}}{2} \leq Inv_1, Inv_2 \leq \frac{1+\sqrt{2}}{2}$$

Для выполнения расчетов данных инвариантов в системе Matlab необходимо дополнительно рассмотреть дискретную модель цифрового полутонного изображения.

В силу технических ограничений память компьютера способна хранить и обрабатывать только дискретные числа. Поэтому при оцифровке непрерывная функция изображения $f(x, y)$ превращается в дискретную – возникает прямоугольная решетка точек изображения. И таким образом при любых операциях с использованием цифровых технических средств, таких как хранение, обработка и анализ, полутоновое изображение представляет собой матрицу определенного размера со значениями пикселей в узлах сетки (рис. 1).

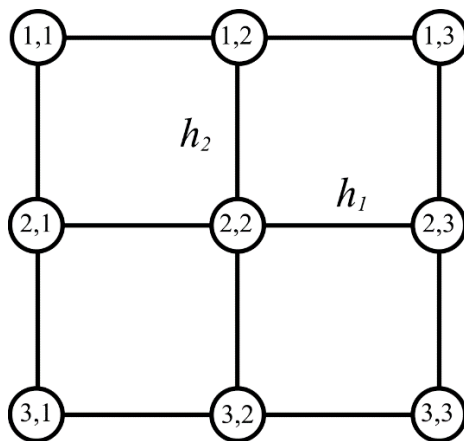


Рисунок 1 – Дискретная сетка цифрового изображения

Система Matlab обладает широкими возможностями обработки и анализа цифровых изображений. При помощи встроенных функций системы была проведена загрузка группы тестовых изображений. Данные группы содержат изображения одной и той же области, но содержащие определенные отличия, такие как уровень яркости, сдвиг по вертикали и горизонтали, угол поворота (рис. 2).



Рисунок 2 – Пример группы изображений

Для каждого из изображений группы были проведены вычисления инвариантных характеристик Inv_1, Inv_2 . Для оценки результативности характеристик рассматривались значения функции распределения разностей между инвариантными характеристиками вычисленных для значения дискретной функции во всех узлах сетки. Проведенные исследования позволяют сделать вывод: для предполагаемого наличия общих областей на изображениях размером $n \times m$ достаточно, чтобы у $0.1^2 \times n \times m$ значений сумма попарных разностей по рассмотренным инвариантным характеристикам не превышала величину $\varepsilon = 200$.

Заключение и выводы

Проведенные теоретические исследования и вычислительные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что представленные в данной работе инвариантные характеристики цифрового одноканального изображения относительно группы аффинных преобразований, а

также яркости, контрастности изображения можно эффективно использовать при решении различных задач анализа и обработки цифрового изображений, таких как сортировка изображений, поиск снимков по образцу, распознавание изображений и другие.

Литература

1. Абрамов, Н. С. Обзор методов распознавания образов на основе инвариантов к яркостным и геометрическим преобразованиям / Абрамов Н. С., Фраленко В. П., Хачумов М. В. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 110–117.
2. Нгуен, З. Т. Инварианты в задачах распознавания графических образов / Нгуен З. Т. – Текст : непосредственный // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – 2016. – № 1. – С. 76–85.
3. Самарина, О. В. Применение интегральных топографических характеристик в решении задач обработки данных дистанционного зондирования / Самарина О. В., Славский В. В., Семенов С. П. – Текст : непосредственный // Математические заметки СВФУ. – Январь-март 2020. – Т. 27, № 1. – С. 41–50.
4. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2003. – 608 с. – Текст : непосредственный.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИИ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННОЙ МЫШЦЫ
ИЗ НЕЙЛОНОВОЙ ЛЕСКИ ДЛЯ РОБОТОВ НА БАЗЕ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Давыдов Эльдар Александрович

*учебный мастер, лаборант кафедры
Машиноведения и инженерной графики,*

*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ*

Казань, Россия

E-mail: permskychel@yandex.ru

Крымова Виктория Николаевна

педагог дополнительного образования,

*Городской центр детского технического
творчества им. В. П. Чкалова,*

*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева – КАИ,*

Казань, Россия

E-mail: vikulka_18_01@mail.ru

Хабибуллин Фаниль Фаргатович

кандидат технических наук, доцент,

*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева – КАИ*

Казань, Россия

E-mail: fanil_arisk@mail.ru

Предмет исследования: два вида искусственных мышц, изготовленных методом вторичной спирализации из нейлоновой лески диаметрами поперечного сечения 1.2 миллиметра и 0.5 миллиметра, которые можно применить при изготовлении роботов на базе рычажных механизмов, а также в других механизмах и системах в качестве движителей.

Цель исследования: выделить преимущества и недостатки каждого из видов искусственных мышц полученных вторичной спирализацией из нейлоновой лески разного диаметра.

Методы и объекты исследования: в статье был проанализирован способ изготовления искусственной мышцы. Экспериментально найден способ измерения максимально возможного поднимаемого веса груза. Подобраны экспериментальным методом рабочие температурные режимы для искусственной мышцы из нейлоновой лески и достаточные веса грузов для удачного функционирования искусственной мышцы из нейлоновой лески различных диаметров поперечного сечения.

Результаты исследования: проведены и проанализированы результаты испытаний на растяжение. Вычислена численная разница поднимаемого веса относительно собственной массы спирали.

Ключевые слова: искусственные мышцы, нейлон, растяжение, движитель, леска.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL MUSCLES MADE OF NYLON FISHING LINE FOR ROBOTS BASED ON LEVER MECHANISMS

Eldar A. Davydov

*Training Master, Laboratory Assistant,
Department of Mechanical Engineering and Engineering Graphics,
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
Kazan, Russia
E-mail: permskychel@yandex.ru*

Victoria N. Krymova

*Additional Teacher of Education,
Chkalov City Center for Children's Technical Creativity;
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
Kazan, Russia
E-mail: vikulka_18_01@mail.ru*

Fanil F. Khabibullin

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI,
Kazan, Russia
E-mail: fanil_arsk@mail.ru*

Subject of research: two types of artificial muscles made by secondary spiralization from nylon fishing line with cross-sectional diameters of 1.2 millimeters and 0.5 millimeters, which can be used in the manufacture of robots based on lever mechanisms, as well as in other mechanisms and systems as propellers.

Purpose of research: to highlight the advantages and disadvantages of each type of artificial muscles obtained by secondary spiralization from nylon fishing line of different diameters.

Methods and objects of research: the article analyzed the method of manufacturing an artificial muscle. A method of measuring the maximum possible lifting weight of the load has been experimentally found. The operating temperature conditions for an artificial muscle made of nylon fishing line and sufficient weights of loads for the successful functioning of an artificial muscle made of nylon fishing line of various cross-sectional diameters were selected by an experimental method.

Results of research: the results of tensile tests were carried out and analyzed. The numerical difference of the lifted weight relative to the proper mass of the spiral is calculated.

Keywords: artificial muscles, nylon, stretching, mover, fishing line.

Введение

В процессе современной модернизации производства человечество стремится к повышению КПД устройств, механизмов и производств. Это достигается разными способами. Например, создание более новых и инновационных устройств, которые вымещают собой старые образцы оборудования и устройств. С течением времени человек научился создавать такие системы и устройства, которые могут в полной мере выполнять функции органов живых существ. Так, в робототехнике, бионике и на множестве устройств используют движители различных видов. Но даже такие устройства как, например, гидравлическая и пневматическая системы имеют ряд недостатков, включающие в себя большие габариты и огромное количество дополнительных систем, необходимых для полноценного и безотказного функ-

ционирования. Прогресс не стоит на месте, и ученые создают новые системы и механизмы, которые с легкостью могут выполнять функции вышеперечисленных устройств. К таким устройствам можно отнести и искусственные мышцы.

В недавнем времени было разработано устройство, а именно – искусственные мышцы из нейлоновой лески, которые в полной мере смогут выполнять функции двигателей в механизмах, и, возможно, станут заменой некоторых систем, таких как пневматика, гидравлика, а также, возможно, в будущем будут выполнять роль мышц живых существ в имплантах различных уровней. Тем не менее, данное устройство требует исследований и доработок.

При выполнении данной работы главной целью являлось выделить преимущества и недостатки каждого из видов искусственных мышц из нейлоновой лески. Для этого было необходимо изготовить экспериментальные образцы, найти способ для фиксации образцов и замера максимального веса, который может передвинуть та или иная конфигурация искусственной мышцы; провести испытания на растяжение, выбрать температурный режим и провести эксперимент.

Результаты и обсуждение

Из чего состоят искусственные мышцы

Множество искусственно созданных человеком устройств и механизмов копируют механизмы работы систем, зафиксированных в природе. Но, несмотря на это, принцип работы искусственных мышц из нейлоновой проволоки значительно отличается от принципа работы скелетных мышц. Искусственные мышцы рассматриваемого вида состоят из нейлоновой лески и работают на принципе её вторичной спирализации.

Нейлон – это искусственно получаемое прочное волокно на основе полиамида, выделяющееся особой прочностью, несложностью в уходе. Это полностью искусственный материал, который ценится за легкость и устойчивость к повреждениям. По некоторым характеристикам нейлон превосходит многие материалы, например, эластичность и прочность. Также материал является приоритетным при выборе в различных ситуациях. Оценка нейлона подтверждает уникальные свойства материала, такие как практичность, универсальность, функциональность. Нейлон обладает такой особенностью: он плохо выдерживает высокие температуры, под их воздействием нейлон плавится и деформируется [1, 2].

Как сказано выше, нейлон обладает высокой эластичностью и другими свойствами, которые позволяют изготовить из него искусственные мышцы. Такие мышцы работают благодаря вторичной спирализации. Принцип образования вторичной спирализации состоит в том, что один конец нейлоновой лески жестко закрепляют в зажим, который вращается вокруг продольной оси самой лески, а на второй конец этой же лески жестко закрепляется груз с фиксатором осевого кручения, который предотвращает кручение свободного конца лески вокруг своей оси, и под действием силы тяжести притягивает его к полу создавая натяжение.

Когда угол скрутки волокон переходит грань в 45° , леска начинает претерпевать вторичную спирализацию, постепенно образуя витки спирали. Как было сказано выше – нельзя позволять закрученной спирали раскрутиться, иначе искусственная мышца работать не будет. Нейлон претерпевает такую сильную пластическую деформацию, что даже после снятия вращающего усилия спираль почти не раскручивается обратно и остаётся закрученной, но без скручивающих напряжений. Это лишь один из всевозможных способов, который может обеспечить получение структуры вторичной спирализации нейлоновой лески [3, 4].

Механизм работы искусственных мышц

Основным механизмом работы искусственных мышц из нейлона является анизотропия. Сокращение нейлоновой спирали при повышении температуры связано с изменением направления волокон в структуре закрученной лески. Это происходит потому, что в то время, когда при изготовлении лески расплавленный материал пропускается через фильеру, длинные полимерные молекулы ориентируются вдоль её продольной оси. Нагруженные по-

лимерные волокна при нагреве, увеличивая энтропию системы, сокращаются. То есть, при нагреве нейлоновой лески, закрученные под 45° волокна сокращаются, что приводит к раскручиванию лески и спираль так же сокращается. При увеличении температуры закрученный нейлон стремится вернуть свою форму в исходное состояние, но так как на этот момент закручена и на нее действуют скручивающие напряжения, то расстояние между каждыми двумя рядом стоящими витками уменьшается, тем самым приводя спираль к сжатию, а систему – в движение [3, 4].

При дальнейшем охлаждении происходит обратный процесс. Он происходит значительно быстрее и эффективнее, если на спираль действуют растягивающие напряжения подвешенного на свободный конец веса груза.

Рассмотрим два вида спиралей, полученных методом вторичной спирализации из двух видов нейлоновой лески диаметрами 1.2 миллиметра и 0.5 миллиметра, а также вычислим максимально возможный вес груза, передвигаемый искусственными мышцами.

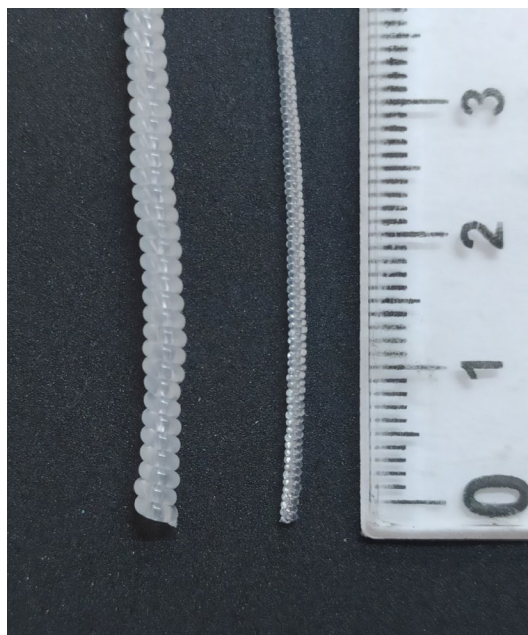


Рисунок 1 – Образцы, полученные посредством вторичной спирализации нейлоновой лески диаметром 1.2 мм и 0.5 мм

Изготовление экспериментальных образцов

На основе вышеуказанных теоретических данных было выполнено изготовление спирали из нейлоновой лески на вертикально установленном штативе. Было решено изначально для проведения эксперимента использовать нейлоновую леску диаметром поперечного сечения 1.2 мм. Так как леска из нейлона обладает рядом свойств, в которые включена упругость, то зафиксировать леску такого диаметра, завязав на одном из её концов петлю с узлом, было трудно, поэтому фиксация проводилась металлическими зажимами для бумаги (рис. 2). Для этого из металлических зажимов убирались ручки, и на их места вставлялась леска, как показано на рисунке 2. Таким образом, данный способ фиксации не позволяет леске вращаться вокруг своей продольной оси при закреплении, так как корпус металлического зажима играет роль рычага и жесткого фиксатора. Один конец лески, который вставлен в металлический зажим для бумаги, фиксировался на вертикальном штативе посредством плотного зажатия металлического фиксатора между двумя плоскостями, а на второй (свободный) конец лески подвешивался груз массой 375 грамм.

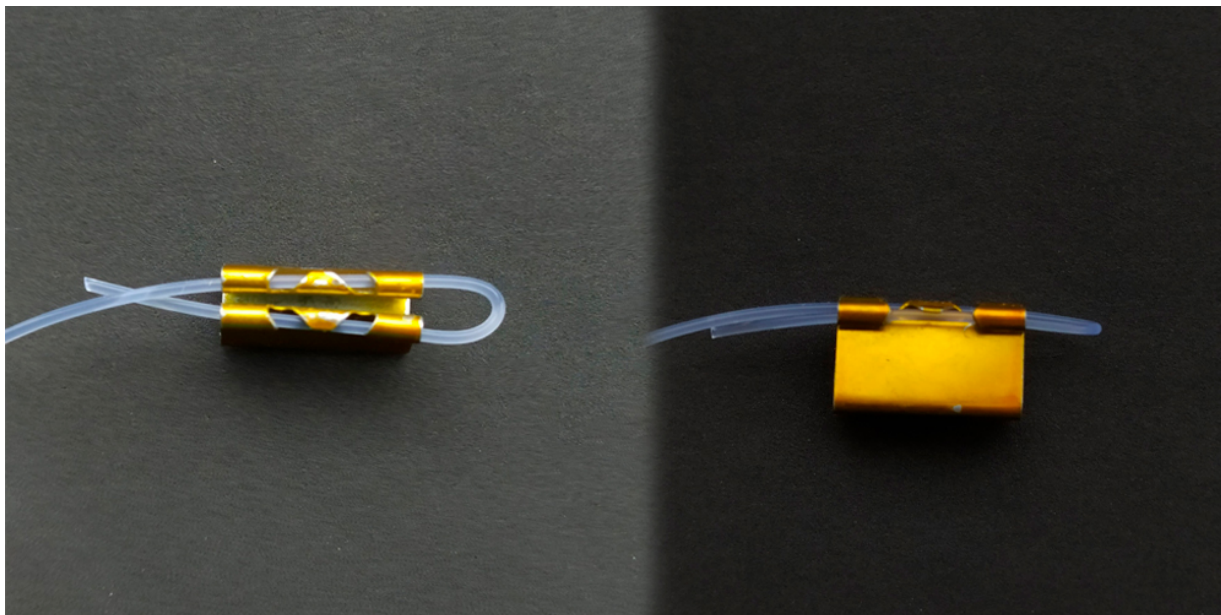


Рисунок 2 – Фиксирование конца лески в металлическом зажиме для бумаги

Необходимый вес груза выбирался исходя из степени напряжённости спирали. Для закручивания был выбран груз массой 375 грамм, который будет достаточен и не приведет к разрыву лески при натяжении.

Далее производилось вращение груза вокруг продольной оси лески до тех пор, пока не образуется вторичная закрутка, а после – необходимое количество витков спирали. От подвешиваемого груза появлялись растягивающие напряжения в леске, которые одновременно с вращением одного конца лески вокруг своей продольной оси провоцировали её к скручиванию по механизму вторичной спирализации (рис. 1), а не сверхспирализации (рис. 3). Для ускорения процесса образования мышцы было принято решение использовать ручную электрическую дрель для вращения лески вокруг её продольной оси [5, 6].



Рисунок 3 – Леска, закрученная путем сверхспирализации

Используемый способ замера максимальной подъемной силы

Для получения более точных результатов необходимо найти такой способ замера, который будет достаточно простым, но при этом будет отображать достаточно точные результаты экспериментов.

Для этого было принято решение проводить замеры максимально возможной массы, поднимаемой исследуемой мышцей электронными весами с возможностью обнуления массы

тары на весах. Это поможет получить достаточные результаты замеров. Цена деления таких весов равна 1 грамму.

На весы укладывается груз выбранной массы для каждого вида спиралей. После этого свободный конец спирали фиксируется за груз, а также от вращения вокруг своей продольной с небольшим натягом. Обнуляется счетчик массы так, чтобы с установленным грузом на весы в состоянии покоя они показывали 0 грамм. После этого при сокращении искусственной мышцы, она будет приподнимать груз от поверхности весов, которые, в свою очередь, будут показывать изменения приложенной к ним массы в обратном направлении (со знаком минус). Таким образом, мы с легкостью можем измерить максимально возможный вес, который сможет передвинуть искусственная мышца из нейлоновой лески.

Испытания спирали из лески с диаметром поперечного сечения 1.2 мм

После образования вторичной спирализации витки спирали плотно прижимаются друг к другу. В таком случае при подвешивании груза с очень маленьким весом нагрузка на спираль будет недостаточной, и расстояние между витками спирали не увеличится, поэтому растяжения спирали (при нагружении) и сжатия при нагреве не будет. По этой причине для проверки силы искусственной мышцы при нагреве путем постепенного увеличения веса подвешиваемого груза было установлено, что достаточной нагрузкой для закрутки и эксперимента будет достаточен груз массой 900 грамм, при котором между витками спирали будет некоторое расстояние для предоставления свободного хода мышцы и её сокращения, и не будет происходить разрыв нейлоновой лески.

Для того чтобы появилась реакция мышцы, необходимо повысить её температуру. Для нагрева мышцы использовался паяльный фен марки Weller с возможностью изменения температуры воздуха, а также его скорости на выходе из сопла. Сопло фена имеет диаметр 7 мм, поэтому будем считать, что такой нагрев является локальным, а именно – производится только в одном небольшом месте, а не распространяется на поверхность всей спирали.



Рисунок 4 – Фен Weller WHA 300, применяемый для нагрева спирали

Исходная длина лески составляла 1 м, а после скрутки ее длина стала составлять 27 см. То есть при образовании вторичной закрутки рабочая длина сокращается на 63 %. Один конец закрученной спирали надежно фиксировался в металлическом зажиме для бумаги, закрепленном в штативе. С другой стороны, надежно подвешивался груз, зафиксированный от вращения вокруг продольной оси спирали. После этого производился локальный нагрев горячим возду-

хом температурой 120–125°C (выбран такой режим температуры, так как источник тепла не имеет непосредственного соприкосновения со спиралью, и часть тепла теряется на разогрев воздушного потока. В конечном счете, леска спираль локально нагревалась в интервале температур от 80°C до 95°C, что вполне достаточно для работы искусственной мышцы из нейлона) в течение 17 секунд. В это время на весах было зафиксировано изменение массы груза, которое составляло 191 грамм. То есть максимальная нагрузка, которую может поднять одна спираль из нейлоновой лески диаметром 1.2 мм и длиной 27 см – груз массой не более 191 грамма.

При этом собственная масса спирали составляет 2 грамма. Следовательно, мышца из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра может привести в движение груз, который превышает массу самой мышцы в 80 раз. При необходимости поднятия груза большей массы можно соединить несколько спиралей в один пучок.

Испытания спирали из лески с диаметром поперечного сечения 0,5 мм

Следующим этапом были проведены аналогичные эксперименты с нейлоновой леской диаметром 0.5 миллиметра. Так же, как и в варианте со спиралью из нейлоновой лески диаметром 1.2 миллиметра, изготавливаем спираль из нейлоновой лески диаметром 0.5 миллиметра. Так как диаметр используемой лески стал значительно меньше, чем в прошлом эксперименте, то и вес, подвешиваемый на один из концов лески, используемый в качестве натяжителя для закрутки, необходимо использовать меньше, а именно – 260 грамм. Данный вес груза был подобран, как и в прошлом эксперименте, опытным путем. Выбор более маленького веса позволит избежать случаев разрыва лески при образовании вторичной закрутки. Исходная длина нейлоновой лески также составляла 1 метр, но после проведения вторичной спирализации спираль стала длиной 45 сантиметров. Увеличение длины конечной спирали в напряженном состоянии произошло вследствие того, что диаметр поперечного сечения лески значительно меньше предыдущего экспериментального образца и диаметр витков спирали также меньше, чем диаметр витков предыдущей спирали.

В данном случае для нагревания нейлоновой лески также был использован фен марки Weller с возможностью изменения температуры воздуха, а также его скорости на выходе из сопла. Исходя из этого, можно сделать вывод, что нагрев, как и в первом случае, является локальным, а, следовательно, условия испытаний двух спиралей из лески разного диаметра одинаковые.

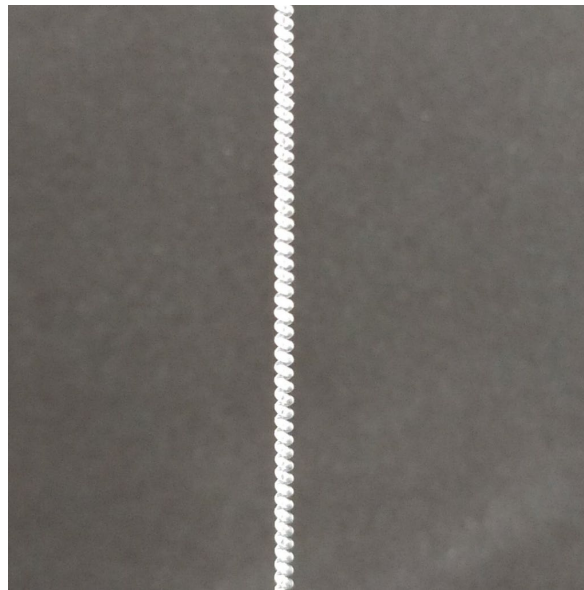


Рисунок 5 – Спираль из лески диаметром 0.5 мм в рабочем растянутом положении

На первых стадиях эксперимента столкнулись с проблемой, которая заключается в том, что рабочая температура сокращения, которая подходит для работы спирали из лески толщиной 1.2 миллиметра не подходит, так как при такой температуре леска теряет форму спирали и растягивается. Для решения этой проблемы было принято решение уменьшить интервалы рабочих температур до 70–80°C. Это позволило избежать проблем с потерей формы спирали при её нагреве.

После того, как посредством вторичной спирализации спираль была закручена, на весы был установлен выбранный груз массой 600 грамм, который крепился к одному из концов нейлоновой спирали. Груз был установлен так, что закрепленная за него нейлоновая спираль находилась в растянутом состоянии. После приведения системы в состояние покоя счетчик весов был обнулён.

Выбранного рабочего веса было достаточно для того, чтобы перевести спираль в напряженное и натянутое состояние, при условии, что не будет происходить её разрушение. В ходе проведения эксперимента было установлено, что максимально возможная масса, поднимаемая нейлоновой мышцей из лески диаметром 0.5 миллиметра, равна 97 граммам, при этом собственная масса спирали составляет 0.92 грамма. Следовательно, мышца из нейлоновой лески диаметром сечения 0.5 миллиметра может привести в движение груз, масса которого превышает массу самой мышцы в 105.5 раз.

Испытания на растяжение

Было принято решение для более точного сравнения двух видов искусственных мышц провести испытания на их растяжение. Испытания проводились безменом электронным с диапазоном измерения от 0 до 50 кг и с функцией фиксирования значения максимальной нагрузки. Для испытаний на растяжения были использованы новые образцы, полученные способом, указанным выше.

Для проведения замеров один из концов спирали надежно фиксировался на штативе, а со вторым концом надежно соединялся безмен электрический.

Изначально производилось испытание искусственной мышцы из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра. При постепенном увеличении нагрузки спираль растягивалась. На отметке в 1565 грамм начало происходить разрушение формы спирали (рис. 6). При дальнейшем увеличении спираль продолжала деформироваться, а на отметке в 5920 грамм произошел разрыв лески, хотя заявленная максимальная выдерживаемая этой леской нагрузка равна 7 килограмм.

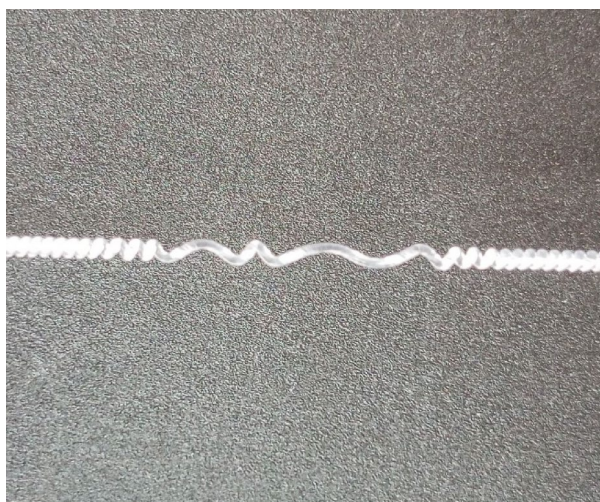


Рисунок 6 – Разрушенная форма спирали из лески диаметром 0.5 мм

Следующим этапом были проведены испытания искусственной мышцы из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра. Как и в предыдущем испытании при увеличении нагрузки спираль растягивалась, но главное отличие заключается в том, что на отметке в 18200 грамм произошел разрыв лески без предварительного разрушения формы спирали. Заявленная максимальная поднимаемая нагрузка равна 30 килограммам.

Преждевременный разрыв происходит из-за того, что линии скручивания играют роль концентраторов напряжений.

Сравнение

Как видно из экспериментов, результаты которых представлены выше, каждый тип спирали из нейлоновой лески обладает своими преимуществами и недостатками. Главным преимуществом спирали из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра является её устойчивость к растягивающим напряжениям, но при этом её рабочая сила в сравнении со своим собственным весом значительно меньше, чем у спирали из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра. Также одним из недостатков спирали из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра является то, что для активации её работы необходим больший показатель температуры, а также она обладает габаритами, которые больше, чем у её конкурента.

Основным недостатком искусственной мышцы из нейлоновой лески диаметром 0.5 миллиметров является то, что спираль начинает разрушаться даже при небольших перегрузках. Также можно отметить, что закручивание лески для образования спирали происходит дольше при диаметре поперечного сечения 0.5 миллиметра, чем при диаметре 1.2 миллиметра. Это связано с тем, что из-за более маленького диаметра поперечного сечения лески образуется значительно больше витков, чем при большом диаметре поперечного сечения лески. Из преимуществ можно выделить то, что из искусственных мышц из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметров легче собрать пучок спиралей, а также этот вид спирали передвигает больший вес относительно своей собственной массы.

Несмотря на то, что спираль из нейлоновой лески диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра имеет ряд недостатков перед нейлоновой леской с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра, она является более прочной, что в некоторых случаях является приоритетным критерием выбора.

Заключение и выводы

В конечном счете, были проведены эксперименты, в результате которых было установлено, какой вес могут передвинуть искусственные мышцы из нейлоновой лески разных диаметров, и во сколько раз он превышает их собственный вес. Спираль из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра в среднем может поднять груз массой, превышающий свой собственный в 80 раз. Спираль из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 0,5 миллиметра в среднем может поднять груз массой, превышающий свой собственный в 105,5 раз.

Для каждого вида спирали был подобран свой собственный рабочий вес, а также вес для проведения вторичной закрутки нейлоновой лески. Рабочий вес для искусственной мышцы из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра равен 900 граммам, а для искусственной мышцы из нейлоновой лески диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра – 600 грамм. Масса груза, используемая для получения вторичной закрутки, отличалась от рабочей, и для спирали из лески с диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра она равна 375 грамм, а для спирали из лески с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра – 260 грамм.

Был выбран температурный режим для работы при локальном нагреве горячим воздухом, во время которого не будет происходить течения материала. Для спирали из лески с

диаметром поперечного сечения 1.2 миллиметра диапазон рабочих температур варьируется от 120°C до 125°C на выходе, а для спирали из нейлоновой лески с диаметром поперечного сечения 0.5 миллиметра – от 80°C до 95°C.

Также были проведены испытания на растяжения, в результате которых было выявлено, что максимальный вес груза, который могут выдержать спирали из нейлоновой лески диаметрами поперечного сечения 1.2 миллиметра и 0.5 миллиметра, 18200 грамм и 5920 грамм соответственно. При этом у спирали второго типа присутствует момент на отметке в 1565 грамм, при котором она начинает терять свою форму.

Литература

1. Егоров, С. А. Исследование физико-механических свойств изделий из нейлона, изготовленных методами аддитивных технологий / С. А. Егоров, Т. В. Тарасова. – Текст : непосредственный // XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2018) : Сборник трудов конференции, Москва, 20–23 ноября 2018 года. – Москва : ФГБУН Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, 2019. – С. 20–23. – EDN YWKZED.
2. Захаров, И. А. Исследование способов активизации искусственной мышцы и возможности её применения на практике / И. А. Захаров, Т. С. Попова, И. Н. Устюгова. – Текст : непосредственный // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Новосибирск, 14–17 ноября 2017 года / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – С. 319–324. – EDN ZTKRAX.
3. Искусственные мышцы из нейлоновой лески // SCFH.RU: ежедн. интернет-изд. 2021. 12 мая. – Текст : электронный. – URL : <https://scfh.ru/papers/iskusstvennyye-myshtsy-iz-neylonovoy-leski/> (дата обращения: 6.10.2022).
4. Матюнин, В. И. Искусственные мышцы из нейлоновой лески / В. И. Матюнин, А. И. Щетников. – Текст : непосредственный // Наука из первых рук. – 2015. – Т. 64, № 4. – С. 122–127.
5. Патент № 2563815 С1 Российская Федерация, МПК А61F 2/08, А61L 27/04, А61L 27/14. Искусственная мышца : № 2014119273/15 : заявл. 14.05.2014 : опубл. 20.09.2015 / Д. А. Журавлев. – EDN AXVYGZ.
6. Стерехова, В. С. Разработка искусственной мышцы из нейлона для реабилитационного тренажера / В. С. Стерехова, А. А. Протопопов. – Текст : непосредственный // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 03–07 декабря 2018 года / Томский политехнический университет. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – С. 356–357. – EDN ZBFPWX.

**ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА СВОЙСТВ СВС-МАТЕРИАЛОВ
С ПОМОЩЬЮ ХРОНО-ТОПОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ДАННЫХ**

Долматов Алексей Викторович

*кандидат технических наук, доцент,
Инженерная школа цифровых технологий,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: adolmatov@bk.ru*

Гуляев Павел Юрьевич

*доктор технических наук, профессор
Политехническая школа,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: Gulyaev1954@mail.ru*

Предмет исследования: статья посвящена разработке методики экспресс-диагностики свойств материалов на основе измерения макрокинетических параметров процесса СВС.

Цель исследования: построение зависимости микротвердости СВС-изделий от скорости распространения волны СВС и ее температуры.

Методы и объекты исследования: объектами исследования являлись процесс СВС в системе Ni-Al и продукты реакции; для измерения скорости распространения волны высокотемпературного синтеза использован оригинальный метод хроно-топографического анализа тепловизионных данных, контроль температуры осуществлялся оригинальным методом спектрально-яркостной пирометрии, а изучение микротвердости экспериментальных образцов выполнено с помощью микротвердомера FM-800.

Основные результаты исследования: в ходе экспериментальных исследований показано, что погрешность определения скорости распространения волны СВС методом хроно-топографического анализа тепловизионных данных составляет 0.1 %, а погрешность измерения температуры методом спектрально-яркостной пирометрии оценена значением 0.5 %. Сделан вывод, что основным фактором, влияющим в эксперименте на общую погрешность скорости распространения волны СВС, является неточность задания параметров шихты у набора образцов. Абсолютная величина общей погрешности составила 3.2 %. Построена диагностическая траектория, позволяющая на основе скорости распространения и температуры реакции СВС оценить микротвердость продукта и сделать вывод о качестве подготовки шихты для производства материала с заданными свойствами.

Ключевые слова: самораспространяющийся, высокотемпературный синтез, СВС, волна, скорость, температура, тепловизионный, комплекс, оптические измерения, экспресс-контроль.

**EXPRESS-DIAGNOSTICS OF THE PROPERTIES
OF SHS MATERIALS USING CHRONO-TOPOGRAPHIC ANALYSIS
OF THERMAL VISION DATA**

Alexey V. Dolmatov

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Information Technology,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: adolmatov@bk.ru*

Pavel Yu. Gulyaev

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Polytechnic School,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: Gulyaev1954@mail.ru*

Subject of research: the article is devoted to the development of a methodology for express diagnostics of material properties based on the measurement of macrokinetic parameters of the SHS process.

Purpose of research: plotting the dependence of the microhardness of SHS products on the propagation velocity of the SHS wave and its temperature.

Methods and objects of research: the research objects were the SHS process in the Ni-Al system and the reaction products; To measure the propagation velocity of a high-temperature synthesis wave, an original method of chrono-topographic analysis of thermal imaging data was used; temperature control was carried out by an original method of spectral-brightness pyrometry. The study of the microhardness of experimental samples was carried out using an FM-800 microhardness tester.

Main results of research: in the course of experimental studies, it was shown that the error in determining the propagation velocity of the SHS wave by the method of chrono-topographic analysis of thermal imaging data is 0.1 %, and the error in temperature measurement by the method of spectral-brightness pyrometry is estimated at 0.5 %. It is concluded that the main factor influencing the total error in the SHS wave propagation velocity in the experiment is the inaccuracy of setting the charge parameters for a set of samples. The absolute value of the total error was 3.2 %. A diagnostic trajectory has been constructed that makes it possible, based on the SHS propagation rate and reaction temperature, to evaluate the microhardness of the product and draw a conclusion about the quality of charge preparation for the production of a material with desired properties.

Keywords: SHS, Embedded, Mechatronics, Tracking, Spectrometer, Thermal imaging, Artificial intelligence, System.

Введение

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволяет создавать функциональные материалы и готовые изделия в результате сгорания порошковых смесей [1, 2]. Эволюция дискретной среды в ходе высокотемпературного физико-химического процесса описывается рядом структурных показателей тепловой волны реакции [3, 4]. Важнейшими из них является скорость распространения процесса и температура синтеза. Они позволяют сравнивать теплоперенос в различных системах, устанавливать связь между макрокинетикой стационарного горения и свойствами конечного продукта [5–7]. Подобную связь можно использовать для создания технологии экспресс-диагностики свойств СВС-материалов и коррекции начальных условий синтеза с целью получения материалов с заданными характеристиками.

Состояние исходных порошков перед СВС и качество подготовки шихты значительно влияют на свойства конечного продукта. Сжигание контрольного образца перед производством основного изделия и диагностика свойств синтезируемого материала способны снизить риск брака и улучшить экономику производства СВС-изделий.

Цель настоящей работы заключалась в построении взаимосвязи типа «макрокинетический параметр СВС – свойство конечного продукта» для экспресс-диагностики качества шихты и оценки риска производства СВС-материалов.

Результаты и обсуждение

Чувствительность метода экспресс-диагностики СВС-материалов, основанного на измерении макрокинетики реакции, существенно зависит от погрешности средств контроля скорости распространения фронта горения и температуры синтеза. Для экспериментального исследования использовался оригинальный микротепловизионный комплекс, включающий микроскоп МБС-10, полосовой светофильтр SL-725-40 ($\lambda = 725$ нм), скоростную камеру ВидеоСпринт и спектрометр LR1-T (рис. 1) [8, 9]. КМОП-сенсор камеры имел размерность 1280x1024 фотоэлемента. Полосовой светофильтр в оптическом тракте камеры превратил каждый фотоэлемент размером 12x12 мкм в отдельный канал яркостной пирометрии, а совмещение области зрения камеры и спектрометра на базе стереомикроскопа, позволило применить метод спектрально-яркостной пирометрии (СЯП) и добиться погрешности измерения температуры реакции высокотемпературного синтеза на уровне 0.5 % [10–12].

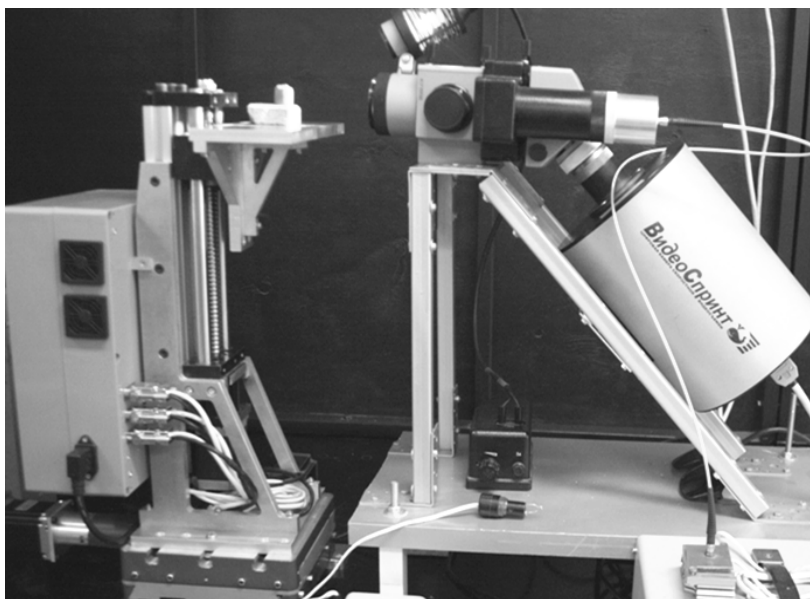


Рисунок 1 – Экспериментальный комплекс

Для измерения скорости распространения фронта реакции СВС применялся оригинальный метод обработки результатов скоростной микротепловизионной съемки. Он позволил выявить данные о положении фронта горения на отдельных кадрах, объединить их в виде хроно-топографической карты, и измерить скорость фронта с погрешностью 0.1 %. Обозначенный авторами метод хроно-топографического анализа (ХТА) тепловизионных данных опирается на закономерности процесса СВС – его стационарность и высокую скорость нарастания температуры во фронте реакции (до 1000 К/мс) [13]. Стационарность явления СВС позволяет для визуализации положения его фронта выбрать пороговое значение температуры из достаточно широкого диапазона, т. к. разные значения температурного порога соответствуют различным стадиям развития процесса в локальных областях и практически не влияют на оценку скорости распространения волны СВС. Для построения хроно-

топографической карты наблюдаемого явления введены следующие обозначения. Пусть начало координат находится в левом верхнем углу фотодатчика (рис. 2).

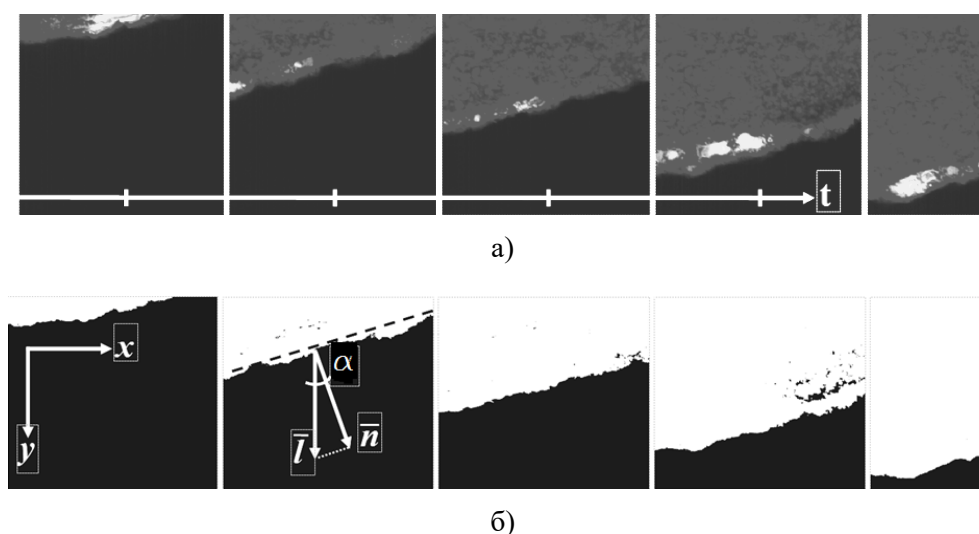


Рисунок 2 – Этапы построения хроно-топографической карты (а – микротепловизионные данные; б – логический видеоряд)

Координата по оси Y отражает положение центра фотоэлементов в столбце датчика, а координата по оси X – в его строке. Обозначим единичным вектором $\vec{l}$ направление наблюдения за положением фронта, а единичным вектором $\vec{n}$ направление перемещения фронта. Будем считать, что направления оси Y и вектора $\vec{l}$ совпадают. Произведем бинаризацию данных микротепловизионной съемки так, чтобы любой элемент изображения менял свое состояние во времени с "черного" на "белый" только один раз, когда температура соответствующей области объекта в первый раз превысит температурный порог (рис. 3).

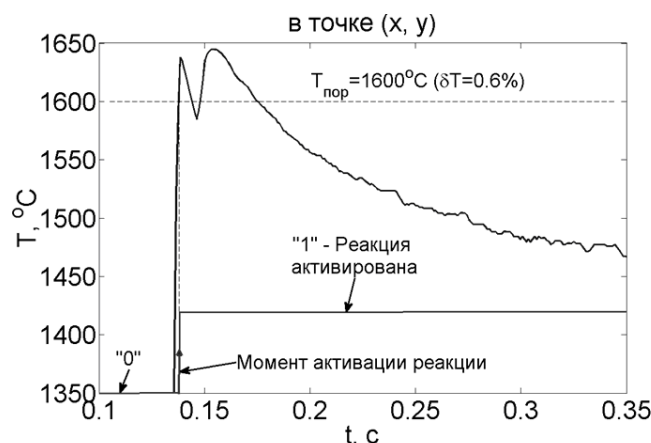


Рисунок 3 – Идентификация фронта волны СВС по температурному порогу

Фронтом реакции в фиксированный момент времени будем считать совокупность «белых» элементов с максимальной Y -координатой в столбцах бинарного изображения. Совокупность положений фронта в разные моменты времени даст хроно-топографическую карту процесса СВС. На рисунке 4 представлена хроно-топографическая карта высокотемпературного синтеза $NiAl$.

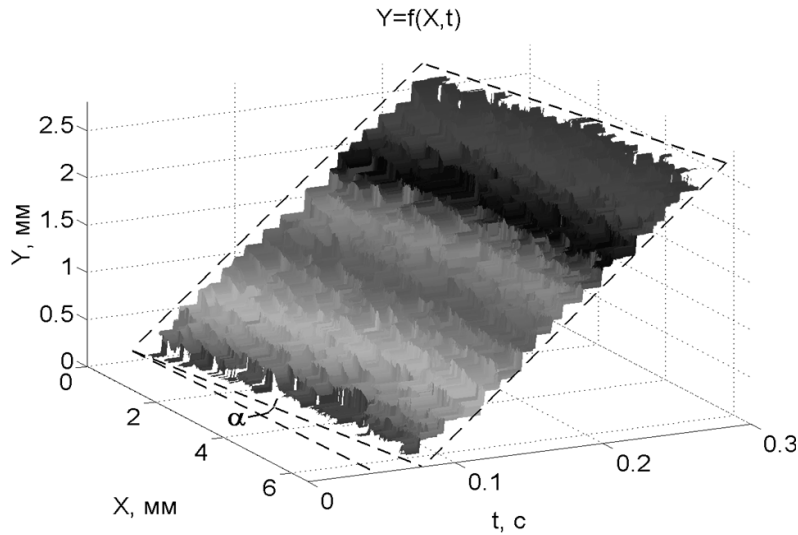


Рисунок 4 – Хроно-топографическая карта СВС NiAl

Анализ хроно-топографической карты позволяет выявить следующие закономерности. Экспериментальные данные о положении фронта СВС $y=f(t,x)$ очень хорошо моделируются плоскостью (рис. 4). По отношению к процессу СВС это означает, что равны оценки математического ожидания скорости фронта по разным моментам времени и по различным точкам пространства. Из данного факта следует, что процесс СВ-синтеза можно считать не только стационарным, но и эргодичным. Изолиния $y=\text{const}$ на аппроксимирующей плоскости является прямой, а угол между ее проекцией на плоскость t - X и осью X равен углу между векторами $\bar{l}$ и $\bar{n}$ (рис. 2, 4). Выявленные особенности процесса СВС устойчиво обнаруживались в микротепловизионных исследованиях системы Ni-Al при вариации стехиометрического состава, доли и дисперсности инертной добавки, плотности и начальной температуры шихты. По указанным причинам в основу метод ХТА легла формула:

$$y_{fr} = a \cdot t + b \cdot x + c, \quad (1)$$

где y_{fr} – положение фронта волны СВС на микротепловизионной съемке в направлении $\bar{l}$; a , b , c – коэффициенты, определяемые с помощью численных методов. Скорость распространения фронта процесса СВС в направлении $\bar{l}$ равна:

$$V_l = \frac{dy_{fr}}{dt} = a, \quad (2)$$

а скорость фронта в направлении $\bar{n}$:

$$V_n = V_l \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

где α – угол между векторами $\bar{n}$ и $\bar{l}$. Учитывая, что $b = \text{tg} \alpha$, окончательная формула скорости фронта процесса СВС через коэффициенты линейной модели примет вид:

$$V_n = a \cdot \cos(\arctg(b)) = \frac{a}{\sqrt{b^2 + 1}}. \quad (4)$$

В качестве оценки абсолютной погрешности для коэффициентов a и b принята ширина их доверительного интервала:

$$\Delta a = a_{\max} - a_{\min}; \quad \Delta b = b_{\max} - b_{\min}, \quad (5)$$

где индексы min и max указывают соответственно на левую и правую границы доверительных интервалов. На основе (4) и (5) получены формулы для оценки погрешности измерения скорости фронта волны СВС методом ХТА:

$$\Delta V_n^m = \sqrt{\frac{\Delta a^2}{b^2 + 1} + \frac{(a \cdot b \cdot \Delta b)^2}{(b^2 + 1)^3}}, \quad (6)$$

$$\delta V_n^m = \frac{\Delta V_n^m}{V_n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где ΔV_n^m – оценка абсолютной методической погрешности, δV_n^m – оценка относительной методической погрешности.

Зависимость «макрокинетический параметр СВС – свойство конечного продукта» строилась на базе экспериментальных исследований в системе Ni – Al. При подготовке шихты использовались: Ni – марка ПНК-УТЗ дисперсностью 5-10 мкм; Al – марка ПА-4 дисперсностью 25-30 мкм. В бинарной системе Ni-Al варьировалась массовая доля никеля от 57 до 87 % с шагом 1.5. Кажущаяся плотность образцов шихты была фиксирована на уровне 2.6 г/см³, а начальная температура составляла 25°С. Подготовка образца выполнялась в кварцевой трубке с внутренним диаметром 20 мм. Его уплотнение осуществлялось посредством вибрации и весового давления металлического цилиндра диаметром 19.6 мм массой 50 грамм. Масса экспериментальных образцов составляла 18 грамма, а их высота 22 мм. Готовый образец шихты в кварцевой трубке размещался в перед объективом микротепловизионного комплекса, которым осуществлялась регистрация процесса СВС с пространственным и временным разрешением 5.8 мкм и 2 мс соответственно. В результате обработки микротепловизионной съемки всех образцов получены зависимости скорости фронта и температуры волны СВС от массовой доли никеля (рис. 5).

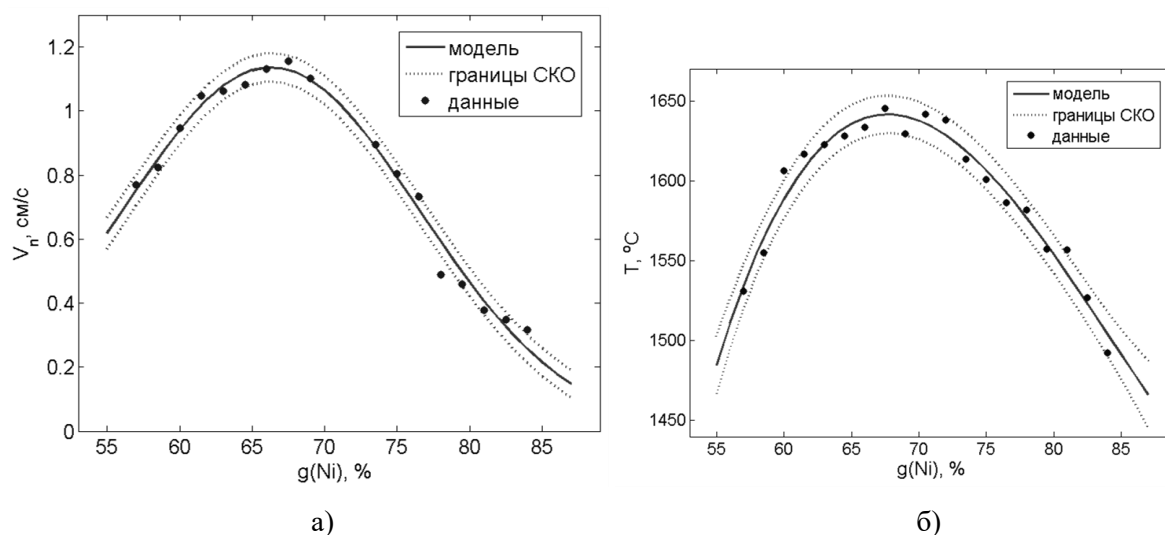


Рисунок 5 – Зависимости скорости (а) и температуры (б) реакции СВС от массовой доли Ni

Оценка методической погрешности измерения δV_n^m представлена на рисунке 6. Ее среднее значение равно 0.092 %.

Для оценки общей погрешности δV_n в эксперименте с набором образцов использована Гауссова модель зависимости скорости фронта волны СВС от доли инертной добавки (рис. 5-а) и вычислена ее невязка с результатами эксперимента (рис. 7). Средняя величина общей погрешности скорости фронта $\langle \delta V_n \rangle$ составила 3.210 %.

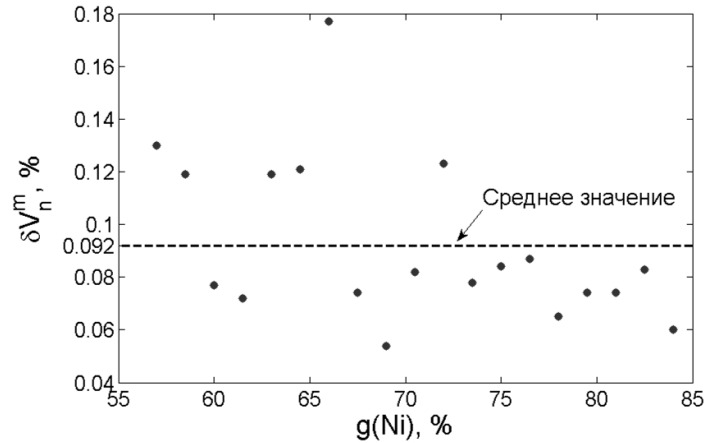


Рисунок 6 – Оценка методической погрешности метода ХТА

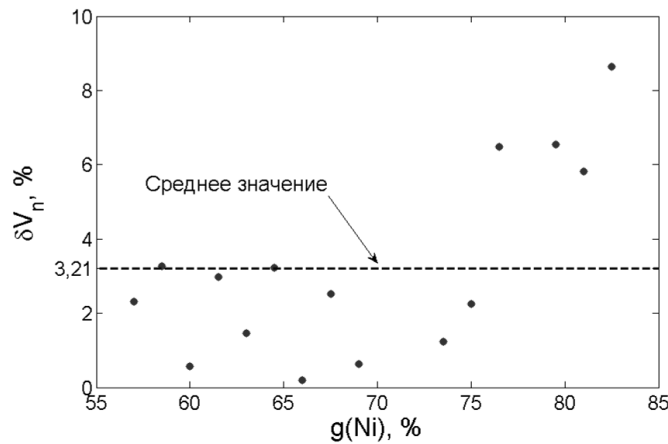


Рисунок 7 – Оценка погрешности скорости распространения волны СВС по выборке экспериментальных образцов

Общая погрешность скорости фронта волны СВС δV_n в эксперименте с набором образцов определяется методической погрешностью средств контроля δV_n^m и погрешностью δV_n^c , связанной с неточностью задания параметров шихты:

$$\delta V_n = \sqrt{(\delta V_n^m)^2 + (\delta V_n^c)^2}. \quad (8)$$

С помощью (8) определено, что $\langle \delta V_n^c \rangle$ равна 3.209 %. Соотношение $\langle \delta V_n^c \rangle / \langle \delta V_n^m \rangle \cong 35$.

Таким образом, при использовании подхода ХТА общая погрешность скорости фронта волны СВС для набора образцов, фактически, определяется неточностью задания параметров шихты. Аналогичный вывод получен относительно погрешности определения температуры по набору экспериментальных образцов в случае ее измерения методом СЯП.

На завершающей стадии экспериментальных исследований был выполнен микродюрометрический анализ образцов, и получена зависимость средней микротвердости материала-продукта, определенная по 30 уколам индентора в произвольные области каждого образца, от массовой доли никеля (рис. 8).

С помощью сопоставления результатов тепловизионных и микродюрометрических исследований построена диагностическая зависимость, которая по параметрам процесса горения тестового образца позволяет определить свойство материала-продукта и сделать вывод о подготовленности шихты для производства большой партии изделий с заданными свойствами (рис. 9).

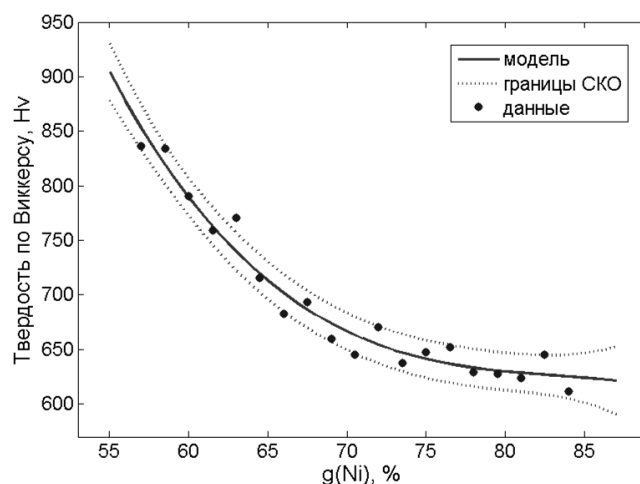


Рисунок 8 – Зависимость средней микротвердости экспериментальных образцов

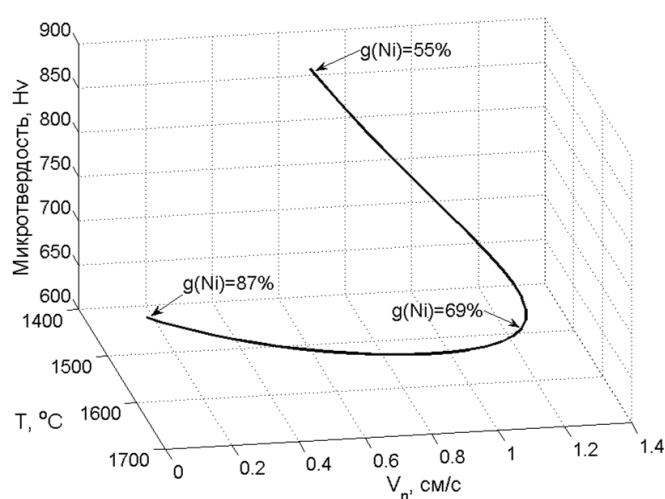


Рисунок 9 – Диагностическая траектория микротвердости в эксперименте

При прочих равных условиях непопадание экспериментальной точки тестового образца на данную траекторию говорит об отклонении технологических параметров шихты от заданных и требует дополнительных процедур по ее подготовке.

Закключение и выводы

От ошибки задания параметров исходной шихты у набора образцов зависят погрешность скорости распространения и температуры волны СВС. Кроме того, к погрешностям скорости распространения и температуры волны горения выборки образцов добавляется инструментальная погрешность средств измерения этих макрокинетических параметров. В свою очередь, величина ошибки скорости распространения и температуры волны СВС влияет на погрешность определения свойства продукта с помощью диагностической зависимости типа «параметр – свойство». Если инструментальной погрешностью средств измерения можно пренебречь, то в цепочке «свойства шихты – макрокинетические параметры СВС – свойства продукта» остается только зависимость погрешности свойств конечного продукта от ошибки задания параметров шихты. Следовательно, выпадение экспериментальной точки $f(V, T)$ тестового образца за пределы доверительной трубки диагностической траектории позволит сделать вывод об отклонении параметров исходной шихты от нормальных значений. В эксперименте показано, что инструментальная погрешность метода ХТА равна 0.1 %. Эта величина значительно меньше ошибки задания параметров шихты в лабораторных условиях (~3.2 %). Его использование делает сечение доверительной трубки диагностической траекто-

рии значительно меньше, чем у метода фоторегистрограмм [1], что способствует большей чувствительности средства экспресс-диагностики.

Диагностические траектории можно построить относительно свойств исходных порошков и начальных условий синтеза. Тогда по семейству диагностических траекторий на основе результатов пирометрических исследований тестового образца можно попытаться компенсировать недостатки шихты коррекцией начальных условий синтеза.

Литература

1. Мержанов, А. Г. Твердопламенное горение / А. Г. Мержанов, А. С. Мукасян. – М. : Торус Пресс, 2007. – Текст : непосредственный.
2. Левашов, Е. А. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Е. А. Левашов, А. С. Рогачев, В. И. Юхвид, И. П. Боровинская. – М. : Бинوم, 1999. – Текст : непосредственный.
3. Varma, A. Combustion synthesis of advanced materials: Principles and applications, in *Advances in chemical engineering* / A. Varma, A. S. Rogachev, A. S. Mukasyan, S. Hwang ; J. Wei (Ed.). – New York : Academic Press, 1998. – V.24. – P. 79–226.
4. Зенин, А. А. Исследование структуры тепловой волны в СВС процессах (на примере синтеза боридов) / А. А. Зенин, А. Г. Мержанов, Г. А. Нерсисян. – Текст : непосредственный // *Физика горения и взрыва*. – 1981. – Т. 16, № 1. – С. 79–90.
5. Рогачев, А. С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику / А. С. Рогачев, А. С. Мукасян. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 400 с. – Текст : непосредственный.
6. Рогачев, А. С. Экспериментальная проверка дискретных моделей горения микрогетерогенных составов, образующих конденсированные продукты сгорания (обзор) / А. С. Рогачев, А. С. Мукасян. – Текст : непосредственный // *Физика горения и взрыва*. – 2015. – Т. 51, № 1. – С. 66–76.
7. Кочетов, Н. А. Зависимость скорости горения от размера образца в системе Ni + Al / Н. А. Кочетов, Б. С. Сеплярский. – Текст : непосредственный // *Физика горения и взрыва*. – 2014. – Т. 50, № 4. – С. 29–35.
8. Долматов, А. В. Виртуальная тепловизионная система с микросекундным периодом регистрации / А. В. Долматов, А. О. Маковеев, К. А. Ермаков, В. В. Лавриков. – Текст : непосредственный // *Ползуновский альманах*. – 2012. – № 2. – С. 31–36.
9. Долматов, А. В. Комплекс автоматизированной калибровки тепловизионной системы на базе MATLAB / А. В. Долматов, К. А. Ермаков, В. В. Лавриков, А. О. Маковеев. – Текст : непосредственный // *Вестник Югорского государственного университета*. – 2012. – № 2 (25). – С. 59–63.
10. Гарколь, Д. А. Новая методика высокоскоростной яркостной пирометрии для исследования процессов СВС / Д. А. Гарколь, П. Ю. Гуляев, В. В. Евстигнеев, А. Б. Мухачев. – Текст : непосредственный // *Физика горения и взрыва*. – 1994. – Т. 30, № 1. – С. 72–77.
11. Anselmi-Tamburini, U. Use of two-color array pyrometry for characterization of combustion synthesis waves / U. Anselmi-Tamburini, F. Maglia, G. Spinolo, Z. A. Munir // *J. of Materials Research*. – 2000. – V. 15, № 2. – P. 572–580.
12. Gulyaev, I. P. Spectral-brightness pyrometry: radiometric measurements of non-uniform temperature distributions / I. P. Gulyaev, A. V. Dolmatov // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2018. – T. 116. – P. 1016–1025.
13. Dolmatov, A. V. Chrono-topographic analysis of the fire focus dynamics in the SHS wave / A. V. Dolmatov, P. Yu. Gulyaev, I. V. Milyukova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – P. 042024.

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ
ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Кузнецова Ирина Николаевна

кандидат технических наук, доцент,

доцент Политехнической школы,

Югорский государственный университет

Ханты-Мансийск, Россия

ORCID: 0000-0002-4907-2369

E-mail: inkuznecova@mail.ru

Громов Сергей Александрович

аспирант Политехнической школы,

Югорский государственный университет

Ханты-Мансийск, Россия

ORCID: 0000-0002-0120-0157

E-mail: grom74s@mail.ru

Предмет исследования: в статье рассмотрен относительно новый материал для малоэтажного строительства – модифицированная древесина – цельная древесина с направленными измененными физическими свойствами, природные свойства которой улучшены в результате использования современных технологий деревообработки.

Цель исследования: рассмотреть технологию получения модифицированной древесины для малоэтажного строительства с повышенными эксплуатационными свойствами.

Методы и объекты исследования: древесина из лиственных пород – береза, древесина из труднопропитываемых хвойных пород – сосна; предложенная технология получения модифицированной древесины позволяет получить новый материал с показателями соответствующими древесине твердых пород, за счет сквозной пропитки бревна модификатором – водным раствором карбамида.

Основные результаты исследования: технология получения модифицированной древесины повышает её эксплуатационные свойства, при сушке модифицированной древесины влажность древесины уменьшается до 8 %, содержание карбамида в древесине после пропитки составляет до 8-10 %, плотность – 700-730 кг/м³, прочность – 100-123 МПа, в процессе прессования высота брусков модифицированной древесины уменьшается до 40 %, при этом поперечные размеры брусков модифицированной древесины сохраняются первоначальными.

Ключевые слова: модифицированная древесина, водный раствор карбамида, малоэтажное строительство, плотность, прочность, твердость, влажность.

**TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF MODIFIED WOOD
FOR LOW-RISE CONSTRUCTION**

Irina N. Kuznetsova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Polytechnic school,

Yugra State University,

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: inkuznecova@mail.ru

Sergey A. Gromov

Graduate Student of the Polytechnic school,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: grom74s@mail.ru

Subject of research: the article considers a relatively new material for low-rise construction – modified wood – solid wood with directionally altered physical properties, the natural properties of which are improved as a result of the use of modern woodworking technologies.

Purpose of research: to consider the technology of obtaining modified wood for low-rise construction with increased operational properties.

Methods and objects of research: hardwood – birch, wood from hard-to-feed conifers – pine; the proposed technology for producing modified wood allows you to obtain a new material with indicators corresponding to hardwood, due to through impregnation of the log with a modifier – an aqueous solution of carbamide.

Main results of research: the technology of obtaining modified wood increases its operational properties, when drying modified wood, the moisture content of wood decreases to 8 %, the content of carbamide in wood after impregnation is up to 8-10 %, density – 700-730 kg/m³, strength – 100-123 MPa, during the pressing process, the height of the bars of modified wood decreases to 40 %, while the transverse dimensions of the bars of modified wood remain the original.

Keywords: modified wood, urea aqueous solution, low-rise construction, density, strength, hardness, humidity.

Введение

Развитие малоэтажного строительства способствует поиску новых, перспективных, экономичных материалов [2–5] с повышенными эксплуатационными свойствами. Конструкции и элементы для малоэтажного строительства, изготовленные из лиственных пород древесины, не могут быть полноценной заменой конструкциям и элементом из древесины хвойных пород в силу физико-механических и технологических свойств [1, 6].

Относительно новым материалом для малоэтажного строительства является модифицированная древесина – цельная древесина с направленно измененными физическими или химическими свойствами, природные свойства которой, плотность, формоустойчивость, прочность и др. улучшены в результате использования современных технологий деревообработки.

По результатам комплексных испытаний и расчетов, для малоэтажного строительства возможно применение конструкций и элементов из модифицированной древесины в качестве несущих элементов конструкций в малоэтажном строительстве.

Рассмотрим технологию получения модифицированной древесины для малоэтажного строительства с повышенными эксплуатационными свойствами, которая сертифицирована ГОСТ 24329 и уже применяется в строительстве, модифицированная древесина пропитана модификатором – водным раствором карбамида.

Раствор карбамида в воде из-за малой величины молекул способен проникать в полости клеток древесного вещества и пропитывать насквозь древесную заготовку любой толщины. Пропиточный раствор под действием температуры и давления вступает в реакцию с такими составляющими древесного вещества, как лигнин и гемицеллюлозы и, не нарушая макроструктуры древесины, изменяет химическое строение этих составляющих. Древесина становится более прочной и твердой, не поддается воздействию микроорганизмов (плесень, грибки) и химических реагентов, а добавки, совместимые с модификатором, могут сделать ее полностью или частично гидрофобной и негорючей. Карбамид экологичен, так как по воздействию на человека и животных – химически нейтрален [1].

Объекты исследования: древесина из мягких лиственных пород – береза, древесина из труднопропитываемых хвойных пород – сосна, используемые для конструкций и элементов малоэтажного строительства.

Проблема повышения эксплуатационной стойкости модифицированной древесины путем управления ее структурообразованием является весьма актуальной.

Испытания прессованной модифицированной древесины проводят стандартизованными методами: ГОСТ 21523.3, ГОСТ 21523.11, ГОСТ 20571, ГОСТ 21312 и ГОСТ 21313.

Технология получения модифицированной древесины из мягких лиственных пород – береза, представлена на технологической схеме на рисунке 1, из труднопропитываемых пород – сосна, представлена на технологической схеме на рисунке 2.

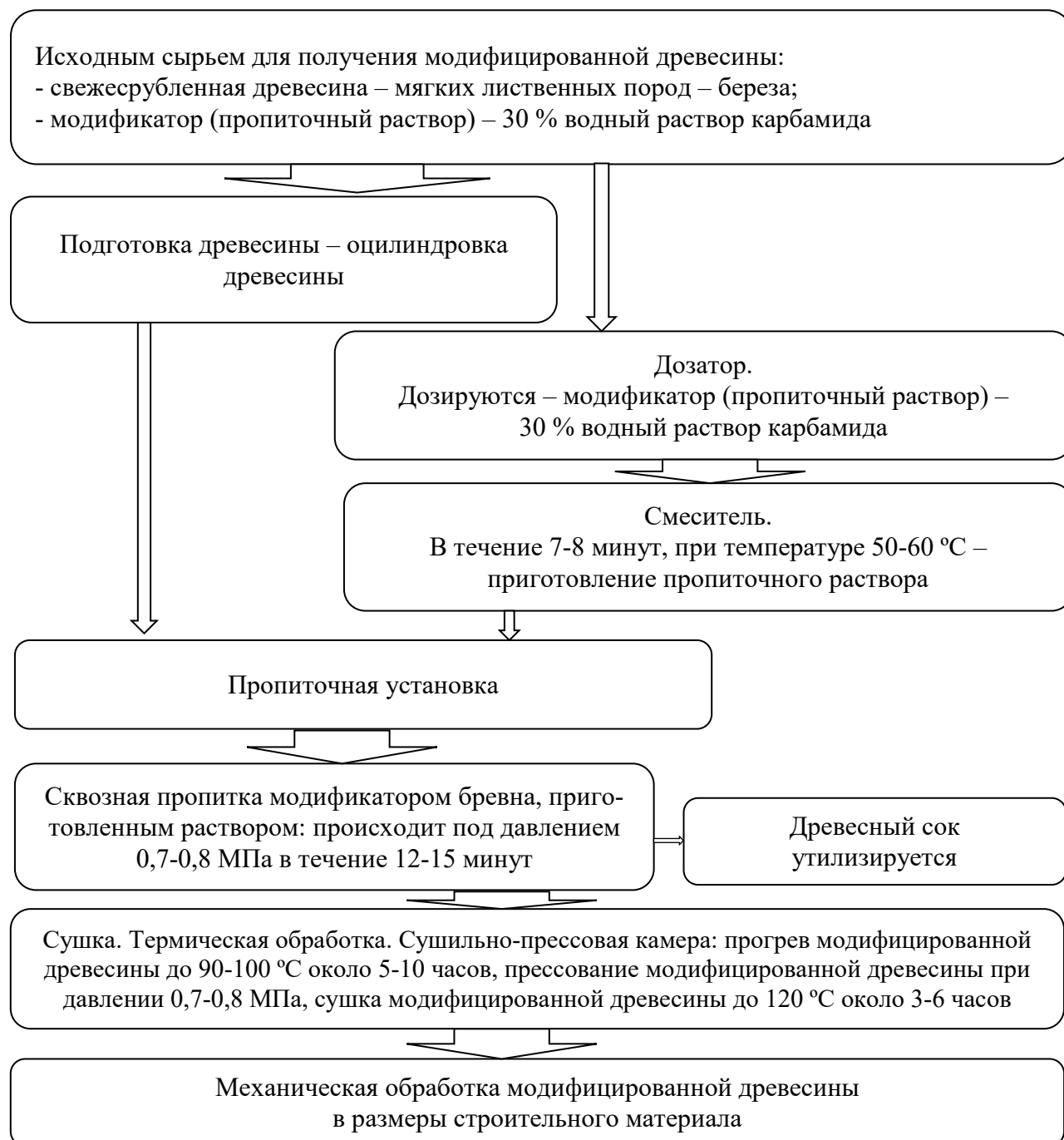


Рисунок 1 – Технологическая схема получения модифицированной древесины из мягких лиственных пород



Рисунок 2 – Технологическая схема получения модифицированной древесины из труднопропитываемых пород

Результаты и обсуждение

Технология получения модифицированной древесины позволяет получить новый, перспективный материал с показателями, соответствующими древесине твердых пород и с повышенными эксплуатационными свойствами.

После сквозной пропитки древесины водным раствором модификатора содержание карбамида в древесине – 8-10 % по отношению к массе древесины. При сушке модифицированной древесины влажность уменьшается до 8 %. После обработки цвет модифицированной древесины березы меняется от белого до желтого, светло-коричневого, цвет модифицированной древесины сосны меняется от желтого – до золотистого, темно-коричневого.

Для пропитки древесины труднопропитываемых пород (сосны) необходимо использовать одновременное воздействие ультразвука и избыточного воздействия давления до 5 МПа.

В конце технологического процесса происходит операция – термическая обработка модифицированной древесины, при которой модификатор (водный раствор карбамида), присутствующий в древесине как пластификатор, расплавляется, соединяясь с компонентами древесины, и превращается в неплавкие, нерастворимые продукты. В процессе прессования высота брусков модифицированной древесины уменьшается до 40 %, при этом поперечные размеры брусков модифицированной древесины сохраняются первоначальными, так как поперечные волокна не подвержены деформированию.

Физико-механические свойства образцов натуральной древесины и модифицированной древесины представлены в таблице 1.

Физико-механические свойства образцов модифицированной древесины, которые являются основными для образцов модифицированной древесины по ГОСТ Р 54577, представлены в таблице 2.

В результате такой обработки показатели разбухания и коробления модифицированной древесины получаются как у натуральной древесины.

В результате получается новый материал модифицированной древесины плотностью 700-730 кг/м³ с прочностью древесины твердых пород 100-123 МПа, но изготовленный из древесины мягких лиственных пород и древесины труднопропитываемых пород с улучшенными показателями формоустойчивости. Водный раствор карбамида является антипиреном и антисептиком, поэтому получаемая модифицированная древесина является малогорючей и биостойкой.

Таблица 1 – Физико-механические свойства образцов древесины

Образцы	Наименование показателей							
	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Влагопоглощение за 30 сут. При влажности воздуха 92 %, %	Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа, не менее	Твердость поперек волокон, МПа, не менее	Биостойкость: потеря массы от воздействия плесени за 45 сут, %	Огнестойкость: потеря массы при горении, %	Ударная вязкость, кДж/м ²
Образцы древесины – береза								
Натуральная древесина (цвет- белый, текстура не выражена)	500	80	19	45	19	27	19,6	45
Модифицированная древесина (цвет от желтого до коричневого, текстура ярко выражена)	700	8	8	123	83	4	5	54
Образцы древесины – сосна								
Натуральная древесина (цвет – желтый, текстура слабо выражена)	450	85	19,5	51	26	27	36	41
Модифицированная древесина (цвет от золотистого до темно-коричневого, текстура ярко выражена)	730	8	8	100	120	не подвержена	повышена на 50 %	50

После механической обработки модифицированной древесины можно производить как бревна или брус, так и конкретные изделия, лестницы, окна, двери. Модифицированная древесина уплотненная является полноценным заменителем ценных твердолиственных пород древесины.

Таблица 2 – Физико-механические свойства образцов модифицированной древесины

Нормативный документ определения показателя	Наименование показателей					
	Показатели	Плотность, кг/м ³ (ГОСТ 21523.11)	Влажность, %, не более (ГОСТ 21523.4)	При влажности воздуха 92 %, %	Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа, не менее (ГОСТ 16483.10)	Твердость поперек волокон, МПа, не менее (ГОСТ 13338)
Образцы модифицированной древесины (береза)	образцы по ГОСТ	700-1200	6-8	3-8	100-130	80-120
	образцы	700	8	8	123	83
Образцы модифицированной древесины (сосна)	образцы по ГОСТ	700-1200	2-8	3-8	100-120	120
	образцы	730	8	8	100	120

Заключение и выводы

Технология модификации изменяет химическую структуру обрабатываемой древесины, она приобретает новые свойства, что помогает использовать модифицированную древесину как в конструкциях и элементах, так и в помещениях с переменной влажностью и температурой. Модифицированная древесина не выделяет в течение срока службы и в конце жизненного цикла вредные вещества, которые несут вред здоровью человека.

Малоэтажный дом из бревна или бруса модифицированной древесины выглядит архитектурно выразительно. Усадки бревна или бруса модифицированной древесины после сборки не происходит за счет сушки и термической обработки.

Бревно или брус модифицированной древесины, используемые для малоэтажного строительства, не подвержены деформации и искривлению. Из модифицированной древесины можно изготавливать разные конструкции и элементы для малоэтажного строительства: балки, арки, фермы, стеновые панели.

Производство из модифицированной древесины конструкций и элементов для малоэтажного строительства может быть внедрено на деревообрабатывающем предприятии.

Литература

1. Куницкая, О. Инновационная технология модифицирования древесины / О. Куницкая. – Текст : электронный // Отраслевой информационно-аналитический журнал «Деревообработка. Бизнес и профессия». – 2018. – № 12. – URL : <http://infoderevo.ru/>
2. Машкин, Н. А. Применение модифицированной древесины в шахтной крепи / Н. А. Машкин, С. А. Громов, В. И. Шкряба. – Текст : непосредственный // Эффективные методологии и технологии управления качеством строительных материалов : сборник научных трудов по материалам национальной Научно-технической конференции с международным участием, Новосибирск, 16–19 февраля 2021 года / Новосибирский государственный аграрный университет; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет; Российская академия естественных наук. – Новосибирск : Б. и., 2021. – С. 99–102.
3. Машкин Н. А. Эксплуатационная стойкость модифицированной древесины в строительных изделиях. Текст : непосредственный // Изв. вузов. Строительство. – 1999. – № 6. – С. 59–63.

4. Паршукова, А. К. Технология утилизации отходов деревообрабатывающей промышленности. Текст : непосредственный / А. К. Паршукова, Н. А. Машкин, Д. А. Немущенко // Наука Промышленность Оборона : Труды XXI Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне / под ред. С. Д. Саленко. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 163–168.

5. Kuznetsova, I. N. The technology for concrete production using an activated mixture of wood procession waste and sand / I. N. Kuznetsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1093 012018. – DOI:10.1088/1757-899X/1093/1/012018.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ
НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TiN**

Сошина Татьяна Олеговна

*кандидат технических наук,
доцент с обязанностями заведующего
кафедрой Технические дисциплины,
Лысьвенский филиал ФГАОУ «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
Лысьва, Россия
E-mail: soshtanya@rambler.ru*

Мезенцева Дарья Сергеевна

*техник кафедры Технические дисциплины
Лысьвенский филиал ФГАОУ «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
Лысьва, Россия
E-mail: daramezenцева40@gmail.com*

Предмет исследования: покрытия на основе TiN, осажденные методом импульсного магнетронного распыления.

Цель исследования: установление влияния технологических параметров процесса импульсного магнетронного распыления: величины разрядного тока и содержания N₂ в вакуумной камере на структуру и фазовый состав покрытий на основе TiN.

Методы и объекты исследования: фазовый состав и структурные характеристики покрытия на основе TiN изучены в процессе рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа покрытий. Микроструктура сформированных покрытий на основе TiN изучена с использованием растровой электронной микроскопии. Объектом исследования являлись образцы из твердого сплава ВК6 с покрытиями TiN.

Основные результаты исследования: установлено, что наибольшее влияние на формируемую структуру покрытия TiN оказывает величина разрядного тока. Увеличение содержания N₂ и разрядного тока приводит к изменению фазового состава и формированию однофазного покрытия на основе кубической фазы (111) c-TiN с увеличением степени текстурованности покрытия. Определены оптимальные величины технологических параметров, при которых формируется покрытие на основе фазы c-TiN, с минимальным уровнем внутренних напряжений, наименьшим размером зерна, плотной, столбчатой структурой.

Ключевые слова: покрытие TiN, импульсное магнетронное распыление, технологические параметры, содержание N₂, разрядный ток, фазовый состав, структурные характеристики, микроструктура,

**EFFECT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE PROCESS
OF PULSED MAGNETRON SPUTTERING ON THE STRUCTURE
AND PHASE COMPOSITION ON TIN-BASED COATINGS**

Tatyana O. Soshina

*Candidate of Technical Sciences
Associate Professor with the Duties of the
Head Department of Technical disciplines
Lysvensky branch of «Perm National
Research Polytechnic University»
Lysva, Russia
E-mail: soshtanya@rambler.ru*

Daria S. Mezentseva

*Technician, Department of Technical Disciplines,
Lysvensky branch of «Perm National
Research Polytechnic University»
Lysva, Russia
E-mail: daramezenceva40@gmail.com*

Subject of research: coatings based on TiN deposited by pulsed magnetron sputtering have been studied.

Purpose of research: is to establish the effect of technological parameters of the process of pulsed magnetron sputtering: the discharge current and the N₂ content in the vacuum chamber on the structure and phase composition of coatings based on TiN.

Methods and objects of research: the phase composition and structural characteristics of the TiN-based coating were studied in the course of X-ray diffraction and X-ray phase analysis of coatings. The microstructure of the formed coatings based on TiN was studied using scanning electron microscopy. The object of the study were samples of VK6 hard alloy with TiN coatings.

Main results of research: it has been established that the magnitude of the discharge current has the greatest influence on the formed structure of the TiN coating. An increase in the content of N₂ and the discharge current leads to a change in the phase composition and the formation of a single-phase coating based on the (111) c-TiN cubic phase with an increase in the degree of texture of the coating. The optimal values of technological parameters are determined at which a coating based on the c-TiN phase is formed, with a minimum level of internal stresses, the smallest grain size, and a dense, columnar structure.

Keywords: TiN coating, pulsed magnetron sputtering, technological parameters, nitrogen content, discharge current, phase composition, structural characteristics, microstructure.

Введение

Динамика развития обрабатывающей промышленности в России в последние годы определяет увеличивающиеся требования, предъявляемые к современному режущему инструменту, такие как высокая стойкость и надежность [1, 2]. Общемировые тенденции по увеличению срока службы режущего инструмента связывают с multifunctionalными многослойными покрытиями на основе соединений TiN, ZrN, CrN, TiAlN, TiZrN и др. [2–4]. Промышленное применение с области упрочнения режущего инструмента получили магнетронные распылительные системы (МРС), реализующие технологию осаждения покрытий в вакууме (PVD метод) [5–7]. Имеющиеся у классических МРС технологические ограничения привели к созданию МРС, работающих в импульсном режиме – импульсные магнетронные распылительные

системы (ИМРС). ИМРС позволяют решить ряд технологических проблем: понизить температурную нагрузку на режущий инструмент в процессе его упрочнения до 180 °С благодаря скважности импульсов, увеличить плотность и текстурированность осаждаемого покрытия за счет увеличения степени ионизации осаждаемого металлического субстрата до 90 % [8–10]. Осажденные в условия импульсного магнетронного распыления (ИМР) покрытия обладают высокой твердостью, хорошей стойкостью к воздействию агрессивных сред и низким коэффициентом трения [10–12]. Известно, что степень ионизации паров металла определяется максимальной величиной плотности тока и мощности импульсного разряда и, как следствие, требуемые эксплуатационные параметры у покрытия могут быть достигнуты в строго определенном диапазоне работы ИМРС при комплексе технологических параметров [11, 13].

Среди технологических параметров ИМР, оказывающих существенное воздействие на формируемое покрытие наряду с давлением газа в вакуумной камере, напряжением, подаваемым на материал основы, величине и скважности импульса [7, 13–15], важное значение имеют величина разрядного тока, подающегося на мишень магнетрона и содержание реакционного газа (N_2) в вакуумной камере [16]. Металлический субстрат (Ti), содержание которого определяется величиной разрядного тока на мишени магнетрона, поступает в зону реакции в атомарном и ионизованном состоянии. Содержание реактивного газа в вакуумной камере ИМРС влияет на энергию падающих ионов металлического субстрата, которая определяет скорость роста покрытия, достижение стехиометрического состава, плотность, структуру и свойства [8].

Получение покрытия, обладающего комплексом требуемых свойств возможно только при детальном понимании зависимостей структуры и фазового состава покрытия от технологических параметров его осаждения [7, 17–20]. Целью данного исследования являлось изучение влияния величины разрядного тока на Ti мишени и содержания азота в вакуумной камере на структуру и фазовый состав покрытий на основе TiN (далее – покрытий TiN).

Результаты и обсуждение

Покрытия TiN осаждены методом ИМР на установке Unicoat-600 (производство НПФ «Элан-Практик») на тестовые образцы из твердого сплава ВК6. Технологический процесс осаждения покрытий TiN состоял из операций: ионная очистка поверхности образца с подачей на него высокого импульсного напряжения → осаждение адгезионного подслоя Ti → осаждение рабочих слоев TiN. Постоянными оставались параметры технологического процесса: давление газа в вакуумной камере – 0,28 Па; напряжение смещения – 65В; скорость вращения образцов в вакуумной камере 25 об/мин. Эксперимент с изменением содержания N_2 проходил при постоянном значении разрядного тока I_{Ti} , а эксперимент с изменением величины разрядного тока I_{Ti} – при постоянной концентрации N_2 в камере. Температура нагрева образцов в процессе осаждения покрытия TiN составила 230...250 °С. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ покрытий TiN проведен на дифрактометре ДРОН-4. Режимы съемки: излучение – Cu K α , напряжение и ток на рентгеновской трубке – 30 кВ и 20 мА соответственно. Микроструктурный анализ изломов покрытий TiN изучены с использованием сканирующего электронного микроскопа Ultra 55.

Изменение содержания N_2 в вакуумной камере приводит к изменению фазового состава покрытия TiN и его структурных характеристик (рис. 1, табл. 1). При минимальном содержании N_2 формируется двухфазное покрытие с преобладанием объемной доли кубической фазы c-TiN, дополнительной фазой является гексагональная фаза h-TiN_{0,3}. Увеличение содержания N_2 до 30 % приводит к исчезновению гексагональной фазы h-TiN_{0,3} и формированию однофазного покрытия на основе фазы c-TiN.

Анализ структурных характеристик покрытия показал снижение степени деформации кристаллической решетки (КР) основной фазы c-TiN с увеличением содержания N_2 до 30 % (табл. 1). Максимальные отклонения параметра КР Δa от стехиометрических значений наблюдаются у покрытия, сформированного при минимальном содержании $N_2 = 8$ %, что

объясняется невысокой степенью ионизации потока металлической плазмы в условиях дефицита реакционного газа. Снижение уровня внутренних напряжений в покрытии при увеличении содержания N_2 подтверждается уменьшением полуширины пиков фаз β^0 и отклонений положения дифракционных пиков $\Delta 2\theta$.

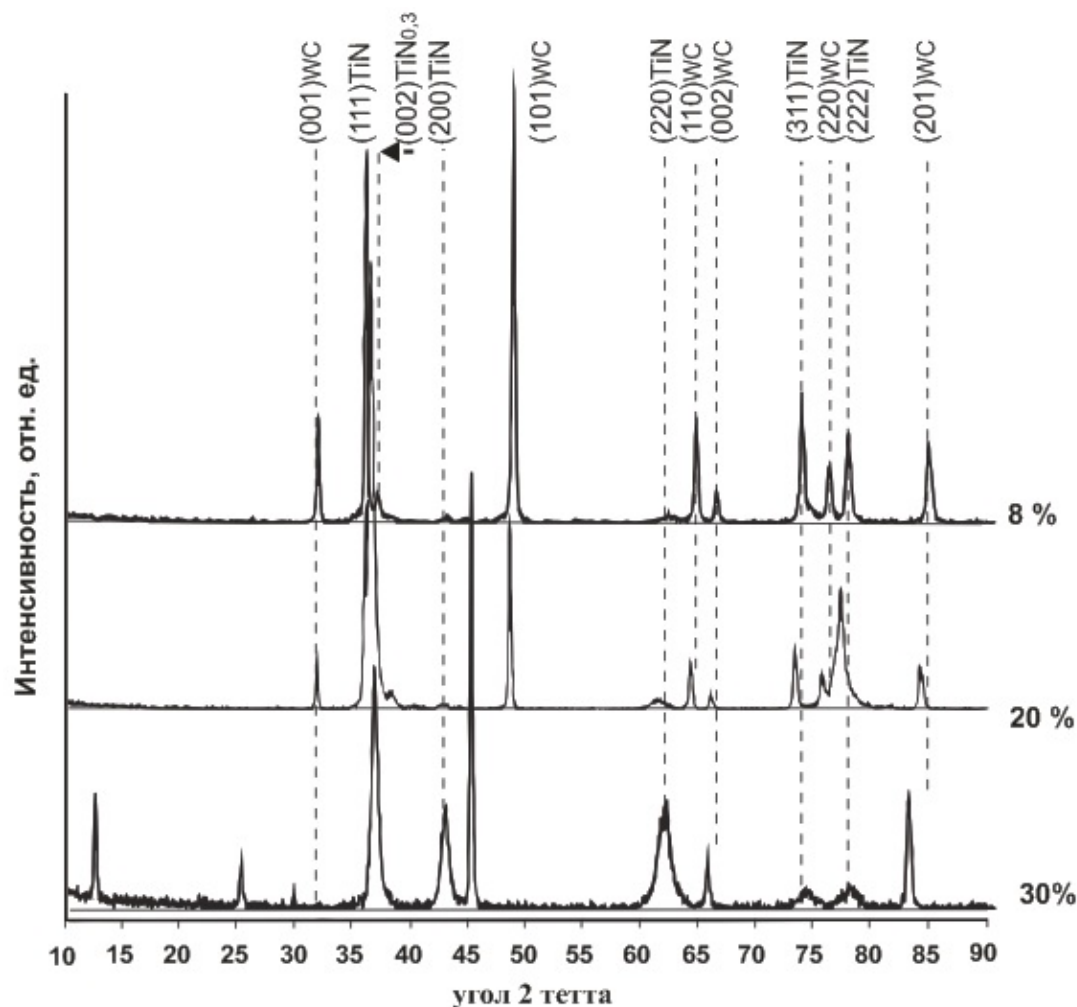


Рисунок 1 – Дифрактограммы покрытий TiN, сформированных ИМП при различном содержании N_2

Таблица 1

Фазовый состав и параметры структуры покрытий TiN в зависимости от содержания N_2

N_2 , %	Объемная доля фаз		$T_{(111)TiN}$	$\Delta 2\theta$, %	Δa , %	$\beta^0_{(111)TiN}$
	c-TiN	h-TiN _{0.3}				
8	92	8	0,76	-1,1	0,6	0,6
20	100	-	0,88	-0,8	0,3	0,5
30	100	-	0,91	-0,3	0,04	0,5

Величина разрядного тока, подаваемого на титановую мишень магнетрона в диапазоне $I_{Ti} = 9...13$ А оказывает влияние на соотношение входящих основных фаз покрытия: c-TiN и h-TiN_{0.3} (рис. 2). Двухфазное покрытие на основе фазы (111) c-TiN формируется при значении разрядного тока 9...11 А (табл. 2). Увеличение разрядного тока до 13 А приводит к исчезновению дополнительной фазы h-TiN_{0.3}. Формируется однофазное покрытие на основе фазы (111) c-TiN с максимальной степенью текстурированности зерен. По уменьшению отклонения параметра КР Δa основной фазы c-TiN, уменьшению уширения пиков основных фаз β^0

и отклонению положений дифракционных пиков $\Delta 2\theta$ можно судить о снижении степени деформации КР и уменьшению уровня внутренних напряжений в покрытии, формируемом при увеличении величины разрядного тока до 13 А.

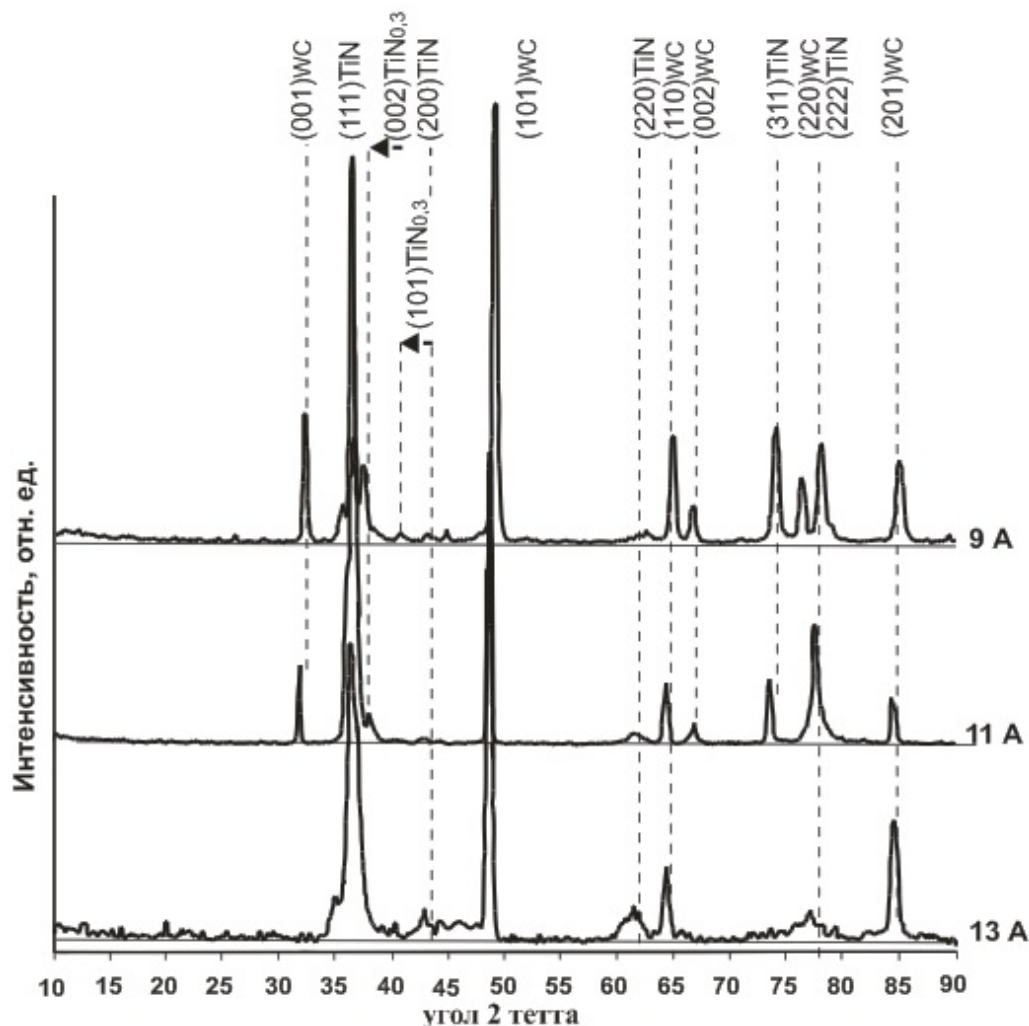


Рисунок 2 – Дифрактограммы покрытий TiN, сформированных ИМР при различном значении разрядного тока

Изменение величины разрядного тока на Ti мишени и содержания N_2 в вакуумной камере не оказывает влияние на преимущественную ориентацию зерен в покрытиях TiN. Сохраняется преимущественная ориентация зерен в направлении (111) для всего диапазона исследуемых технологических параметров. Однако отмечено влияние содержания N_2 и величины разрядного тока на степень текстурированности, которая повышается при увеличении значений технологических параметров ИМС (табл. 2).

Таблица 2

Фазовый состав и структурные характеристики покрытий TiN в зависимости от величины разрядного тока

I_{Ti} , А	Объемная доля фаз		$T_{(111)TiN}$	$\Delta 2\theta$, %	Δa , %	$\beta_{TiN}^{(111)}$
	c-TiN	h-TiN _{0,3}				
9	0,83	0,17	0,76	-1,8	0,6	0,4
11	0,91	0,09	0,70	-0,6	0,5	0,4
13	100	-	0,80	-0,4	0,2	0,5

Микроструктура покрытий TiN, полученных в исследуемом интервале содержания N₂, существенно не изменяется, формируемая структура описывается как столбчатая, зернистая разной степени плотности. При увеличении содержания N₂ до 30 % увеличивается плотность структуры и когезионная прочность. Так, при максимальном содержании N₂ формируемые покрытия имеют столбчатое нанокристаллическое строение с размером зерна 50...100 нм.

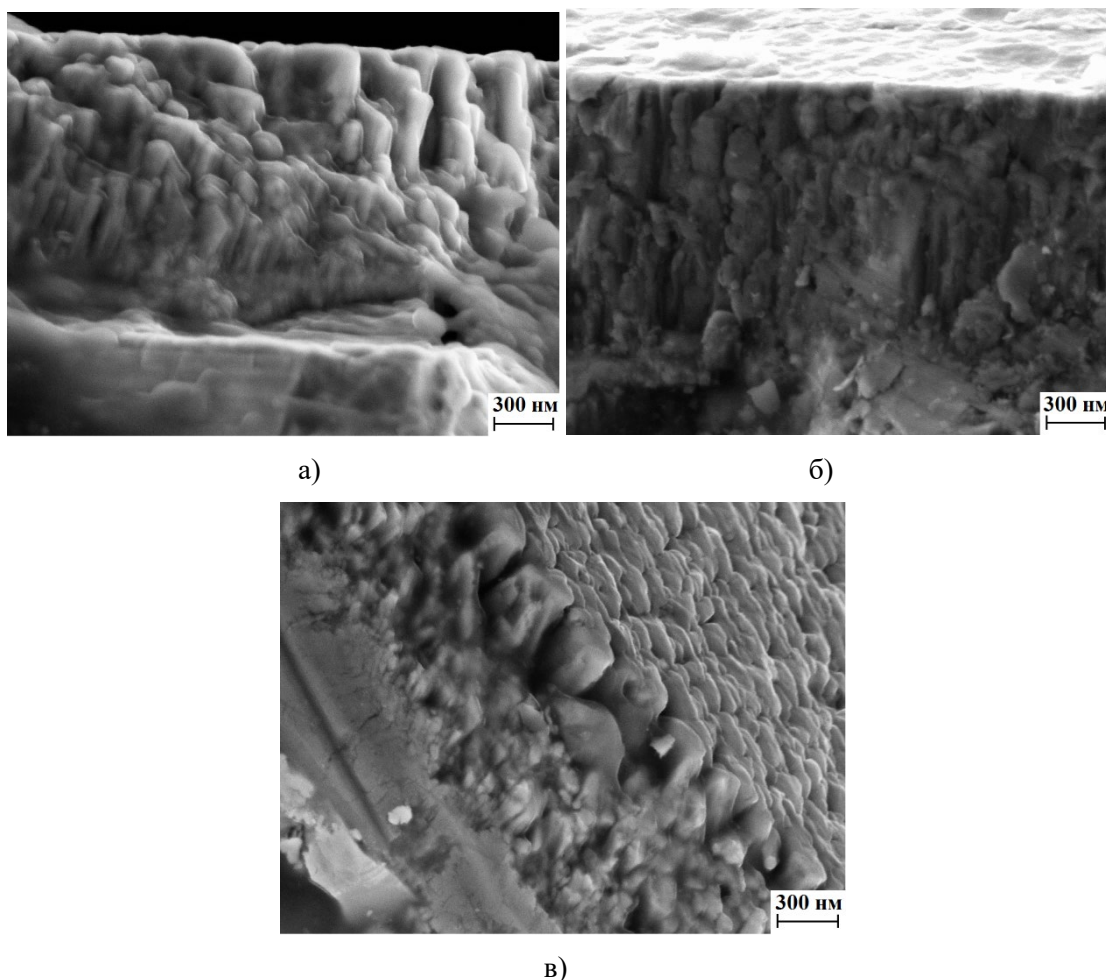


Рисунок 3 – Микроструктура покрытий TiN, сформированных при содержании N₂: а) 8 % б) 20 % в) 30 %

Величина разрядного тока оказывает существенное влияние на микроструктуру покрытий TiN. При минимальном значении разрядного тока 9 А формируется тонкое покрытие с низкой плотностью зерен, ориентированных под углом к подложке и значительным количеством дефектов и неравномерности строения, что может быть обусловлено анизотропией скоростей формирования покрытия при недостаточности атомов Ti в ионизированной металлической плазме. Покрытию TiN, полученному при минимальной величине разрядного тока, соответствует наибольший размер зерна 70...150 нм. Увеличение разрядного тока на Ti мишени приводит к упорядочению структуры с повышением ее плотности и снижением количества видимых дефектов. В условиях максимальной величины разрядного тока 13 А формируется плотная нанокристаллическая структура покрытия, зерна которой имеют размер 50...70 нм и ориентированы перпендикулярно к поверхности подложки.

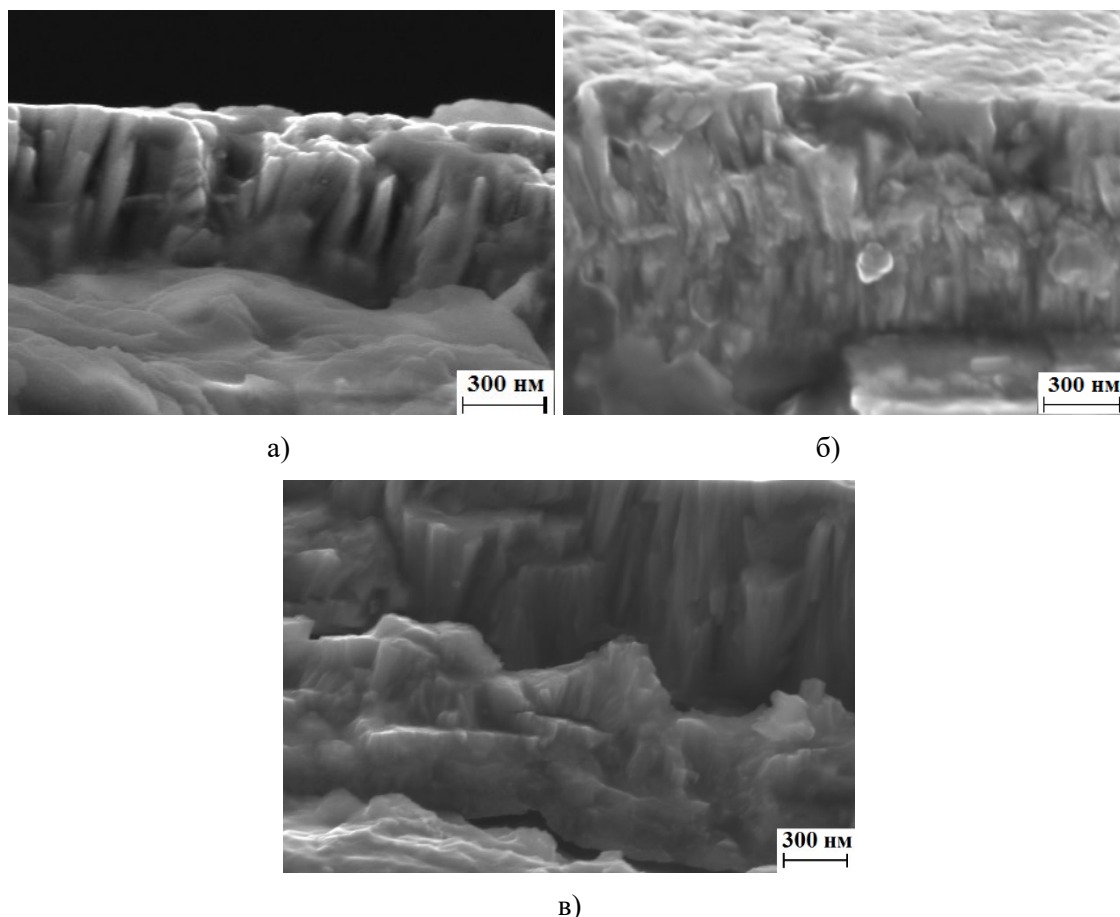


Рисунок 4 – Микроструктура покрытий TiN, сформированных при величине разрядного тока: а) 9 А; б) 11 А; в) 13 А

Заключение и выводы

Микроструктурные исследования полученных покрытий TiN позволили установить, что наибольшее влияние на формируемую структуру оказывает величина разрядного тока на Ti мишени. Изменение содержания N_2 в вакуумной камере не изменяет тип структуры, но изменяет ее отдельные характеристики. Увеличение содержания N_2 и величины разрядного тока приводит к формированию менее напряженного покрытия с малым размером зерна до 70 нм, способствует стабилизации структуры и благоприятно сказывается на когезионной прочности покрытия.

Фазовый состав покрытий TiN изменяется в зависимости от содержания N_2 и величины разрядного тока. Увеличение содержания N_2 и разрядного тока приводит к изменению фазового состава покрытий TiN, заключающегося в снижении объемной доли гексагональной фазы $h\text{-TiN}_{0,3}$ и формированию однофазного покрытия на основе кубической фазы (111) $c\text{-TiN}$ с максимальной степени тестуированности покрытия.

Покрытие TiN на основе фазы $c\text{-TiN}$, плотной столбчатой структурой, минимальным уровнем внутренних напряжений, максимальной степенью текстурированности, наименьшим размером зерна и дефектов покрытия формируется при оптимальном содержании N_2 30 % и величине разрядного тока 13 А.

Литература

1. Маркова, Е. А. Износостойкие покрытия для режущих инструментов: пособие для студентов специальности «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Е. А. Маркова, О. К. Яцкевич. – Минск : БНТУ, 2021. – 50 с. – ISBN 978-985-583-649-1. – Текст: непосредственный.
2. Афанасьева, Ю. Д. Технология нанесения покрытий Ti-TiN на режущий инструмент / Ю. Д. Афанасьева, С. Р. Шехтман. – Текст: непосредственный // Вестник УГАТУ. – 2018. – Т. 22., № 4(81). – С. 3–9.
3. Badaluddin, N. A. Coatings of cutting tools and their contribution to improve mechanical properties: a brief review / N. A. Badaluddin, W. F. Hakim W Zamri, M. F. Din. – Text : immediate // Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13, № 14. – Pp. 11653–11664.
4. Hörling, A. Mechanical properties and machining performance of Ti1-xAlxN-coated cutting tools / A. Hörling, L. Hultman, M. Oden, J. Sjölen, L. Karlsson. – Text : immediate // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol. 191. – P. 384–392.
5. Берлин, Е. Б. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением / Е. Б. Берлин, Л. А. Сейдман. – М. : Техносфера, 2014. – 256 с. – ISBN 978-5-9710-9680-1. – Текст : непосредственный.
6. Удовиченко, С. Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники. Часть 1-я: методическое пособие по организации самостоятельной работы студентов направления 011200.68 – Физика, магистерская программа «Физика наноструктур и наносистем» / С. Ю. Удовиченко. – Тюмень : Изд-во Тюменского государственного университета, 2014. – 85 с. – Текст: непосредственный.
7. Вольпян, О. Д. Магнетронное нанесение оптических покрытий при питании магнетронов переменным напряжением средней частоты / О. Д. Вольпян, А. И. Кузьмичев. – Текст : непосредственный // Прикладная физика. – 2008. – № 3. – С. 34–52.
8. Федотов, А. В. Многофункциональные нанокompозитные покрытия / А. В. Федотов, Ю. А. Агабеков, В. П. Мачикин. – Текст : непосредственный // Наноиндустрия. – 2008. – № 1. – С. 24–26.
9. El-Awadi, G. A. Structure and Properties of thin Hard Coating TiAlN layers Deposited by pvd on Heated Substrate wc/co / G. A. El-Awadi, S. Abdel-Samad, A. F. Waheed. – Text : immediate // Arab Journal of Nuclear Science and Applications. – 2014. – Vol. 47, iss. 1. – P. 138–144.
10. Tański, T. TEM microstructure investigations of aluminium alloys used as coating substrate / T. Tański, K. Labisz, L.A. Dobrzański, M. Wiśniowski, W. Matysiak. – Text: immediate // Materials Science and Engineering. – 2013. – Vol. 59, № 2. – P. 82–92.
11. Каменева, А. Л. Физико-механические свойства пленок на основе Ti-Al-N, формируемых импульсным магнетронным распылением при переменном давлении газовой смеси / А. Л. Каменева, Т. О. Сошина. – Текст : непосредственный // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г. И. Носова». – 2013. – № 4. – С. 60–64.
12. Wu, Wan-Yu. Bioapplication of TiN thin films deposited using high power impulse magnetron sputtering / Wan-YuWu, Man-Yee Chan, Yu-Hsuan Hsu, Guan-Zhen Chen, Shu-Chuan Liao, Cheng-Hung Lee, Ping-Wing Lui. – Text: immediate // Surface and Coatings Technology. – 2019. – Vol. 362. – P. 167–175.
13. Каменева, А. Л. Коррозионная стойкость покрытий на основе Ti1-xAlxN в растворе хлорида натрия / А. Л. Каменева, В. И. Кичигин, Т. О. Сошина. – Текст : непосредственный // Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 10. – С. 34–41.
14. Сошина, Т. О. Проектирование многослойных пленок на основе слоев Ti1-xAlxN с высокими функциональными свойствами / Т. О. Сошина. – Текст : электронный // Наукoведение. – 2015. – Т. 7, № 2. – URL : <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2-technics> (дата обращения 18.01.2023).

15. Работкин, С. В. Нанесение прозрачных проводящих покрытий на основе оксида цинка методом магнетронного распыления : дис...канд.техн.наук / С. В. Работкин. – Текст : непосредственный. – Томск, 2009. – 146 с.
16. Жуков, В. В. Распыление мишени магнетронного диода в присутствии внешнего ионного пучка / В.В.Жуков, В.П. Кривобоков, С.Н. Янин. – Текст : электронный // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76, № 4. – С. 1–6. – URL : <https://studylib.ru/doc/2022570/raspylenie-misheni-magnetronnogo-dioda-v-prisutstvii> (дата обращения 20.01.2023).
17. Chang, Chi-Lung. The Effect of Match between High Power Impulse and Bias Voltage: TiN Coating Deposited by High Power Impulse Magnetron Sputtering by / Chi-Lung Chang, Ching-Yen Lin, Fu-Chi Yang, Jian-Fu Tang. – Text : electronic. – Coatings. – 2021. – № 11(7). – URL : <https://doi.org/10.3390/coatings11070822> (дата обращения 20.01.2023).
18. Нарцев, В. М. Зависимость структуры AlN покрытий от концентрации азота при осаждении на сапфир магнетронным методом / В. М. Нарцев, С. В. Зайцев, Д. С. Прохоренков, Е. И. Евтушенко, В. С. Ващилин. – Текст : электронный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 1. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/zavisimost-struktury-aln-pokrytiy-ot-kontsentratsii-azota-pri-osazhdenii-na-sapfir-magnetronnym-metodom/viewer> (дата обращения 20.01.2023).
19. Юрьев, Ю. Н. Свойства пленок нитрида титана, полученных методом магнетронного распыления / Ю. Н. Юрьев, К. С. Михневич, В. П. Кривобоков, Д. В. Сиделев, Д. В. Киселева, В. А. Новиков. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 4(3). – С. 672–676.
20. Danismani, S. The Effects of Coating Obtained by DC Reactive Magnetron Sputtering Technique on the Wear Performance of Engine Parts. – Text : immediate / S. Danismani, O. Bendes // Gazi University Journal of Science. – 2014. – Vol. 27, I.2. – P. 871–881.
21. Сошина, Т. О. Проектирование многослойного покрытия TiAlN-TiN-TiAlN с высокими трибологическими свойствами / Т. О. Сошина, В. А. Плюснина, О. И. Сошина. – Текст : непосредственный // Вестник ПНИПУ. Машиностроение и материаловедение. – 2022. – № 1 – 2022. – С. 21–27.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ**

Антонов Александр Игоревич

*кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехники и электрооборудования,
Омский институт водного транспорта (филиал),
Сибирский государственный университет водного транспорта
Омск, Россия
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru*

Руди Дмитрий Юрьевич

*старший преподаватель
кафедры электротехники и электрооборудования
Омский институт водного транспорта (филиал),
Сибирский государственный университет водного транспорта
Омск, Россия*

Хацевский Константин Владимирович

*доктор технических наук,
профессор кафедры электротехники и электрооборудования
Омский институт водного транспорта (филиал),
Сибирский государственный университет водного транспорта
Омск, Россия*

Актуальность исследования: в настоящее время широкое применение в области электроэнергетики нашли полупроводниковые преобразователи [6]. Одним из самых распространенных полупроводниковых преобразователей является частотный преобразователь, так как он обеспечивает получение трёхфазного напряжения с регулируемой частотой из трёхфазного напряжения сети. Однако он, равно как и другие полупроводниковые преобразователи, является причиной появления гармоник и, как следствие, несинусоидальной формы кривой напряжений [1]. Гармоники являются причиной таких негативных воздействий в электрической сети, как сопутствующий нагрев обмоток двигателей, трансформаторов и т.д., ложные срабатывания в распределительных сетях, асимметрия в промышленных сетях с трехфазными источниками при возникновении гармоники на одной фазе, возникновение шума в сетях связи, влияние на смежные слаботочные и силовые кабели за счет наведенной ЭДС, а также при появлении гармоник есть потребность увеличения сечения нулевых проводов в связи с суммированием гармоник кратных 3-ей в трехфазных сетях [3]. Поэтому исследование гармонических составляющих напряжения является актуальной задачей.

Предмет исследования: процессы, протекающие в электрических сетях с частотным преобразователем.

Цель исследования: выявить наличие гармонических составляющих напряжения в электрических сетях с частотным преобразователем.

Объект исследования: исследовательский стенд, имитирующий работу электрических сетей с частотным преобразователем.

Методы исследования: в процессе выполнения исследований применялись научно-техническое обобщение литературных источников по исходным предпосылкам исследований, методы теоретических основ электротехники и теории электрических сетей, метод

аналитических исследований, методы системного анализа. Экспериментальные исследования выполнялись комплексным методом с использованием прибора «Ресурс-ПКЭ».

Результаты исследования: на основе проведённых исследований показано, что частотный преобразователь является источником гармонических составляющих напряжений, при этом гармоники появляются только в определённых участках электрической цепи.

Ключевые слова: качество электрической энергии, электрическая сеть, преобразователь частоты, несинусоидальность напряжений, высшие гармоники

STUDY OF THE QUALITY OF ELECTRIC POWER IN ELECTRIC NETWORKS WITH SEMICONDUCTOR CONVERTERS

Alexander I. Antonov

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Equipment,
Omsk Institute of Water Transport (branch),
Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru*

Dmitry Yu. Rudy

*Senior Lecturer Department of Electrical
Engineering and Electrical Equipment,
Omsk Institute of Water Transport (branch),
Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia*

Konstantin V. Khatsevsky

*Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Electrical
Engineering and Electrical Equipment,
Omsk Institute of Water Transport (branch),
Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia*

At present, semiconductor converters have found wide application in the electric power industry [6]. One of the most common semiconductor converters is a frequency converter, as it provides a three-phase voltage with adjustable frequency from a three-phase mains voltage. However, it, like other semiconductor converters, is the cause of the appearance of harmonics and, as a result, the non-sinusoidal shape of the voltage curve [1]. Harmonics are the cause of such negative effects in the electrical network as concomitant heating of the windings of motors, transformers, etc., false alarms in distribution networks, asymmetry in industrial networks with three-phase sources when harmonics occur in one phase, the occurrence of noise in communication networks, the influence on adjacent low-current and power cables due to the induced EMF, and also with the appearance of harmonics, there is a need to increase the cross section of neutral wires due to the summation of harmonics multiple of the 3rd in three-phase networks [3]. Therefore, the study of the harmonic components of the voltage is an urgent task.

Subject of research: processes occurring in electrical networks with a frequency converter.

Purpose of research: to identify the presence of harmonic voltage components in electrical networks with a frequency converter.

Object of research: a research stand that simulates the operation of electrical networks with a frequency converter.

Methods of research: in the process of performing research, scientific and technical generalization of literary sources on the initial prerequisites for research, methods of the theoretical foundations of electrical engineering and the theory of electrical networks, the method of analytical research, methods of system analysis were used. Experimental studies were carried out by a complex method using the Resurs-PKE device.

Results of research he study: based on the studies carried out, it was shown that the frequency converter is a source of harmonic voltage components, while harmonics appear only in certain sections of the electrical circuit.

Keywords: quality of electrical energy, electrical network, frequency converter, non-sinusoidal voltage, higher harmonics

Введение

Поскольку частотные преобразователи, хоть и являются источниками гармоник, нашли широкое применение в системах управления электроприводом, полностью отказаться от них не представляется возможным [2]. Поэтому имеет существенное значение исследование электрической сети, где находится данный преобразователь, на наличие гармоник. Эти исследования необходимы для того, чтобы знать, какие технические решения нужно предпринять в том или ином случае для защиты от гармоник, и нужно ли их предпринимать вообще.

Исследования проводились на лабораторном стенде (рис. 1), содержащем модуль питания, модуль преобразователя частоты, служащий для управления асинхронным трёхфазным двигателем с короткозамкнутым ротором и силовой модуль, содержащий асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Схема исследования приведена на рисунке 2.

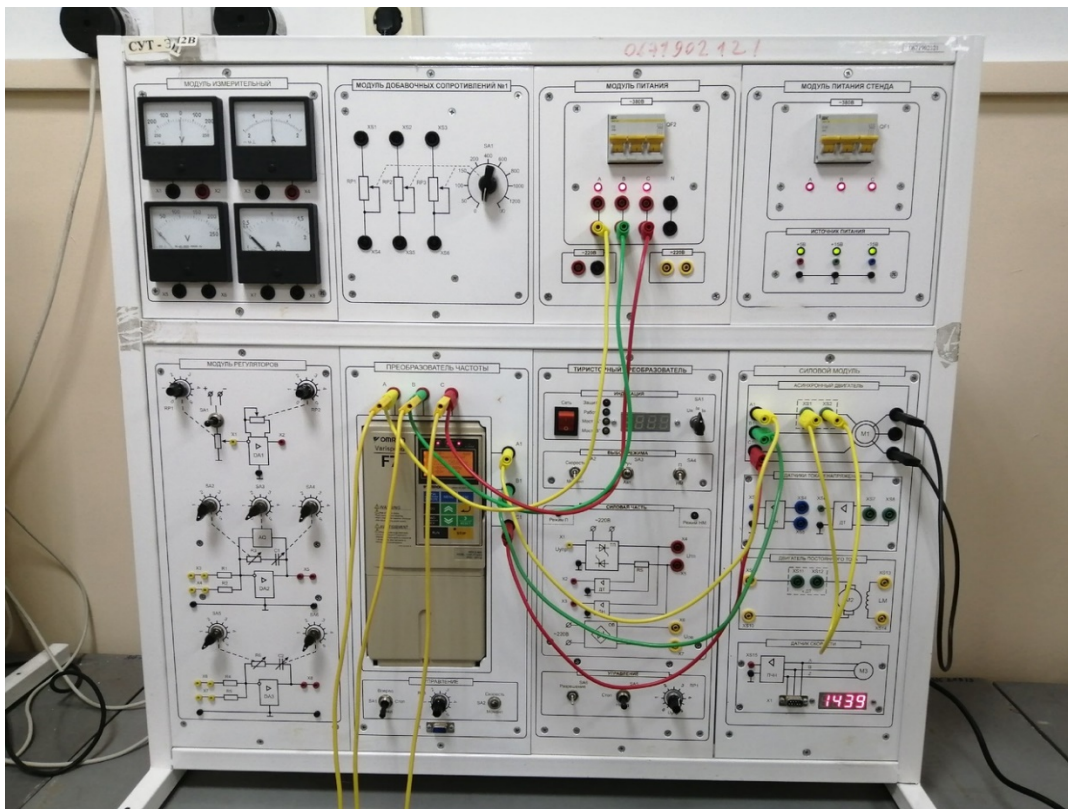


Рисунок 1 – Лабораторный стенд с преобразователем частоты

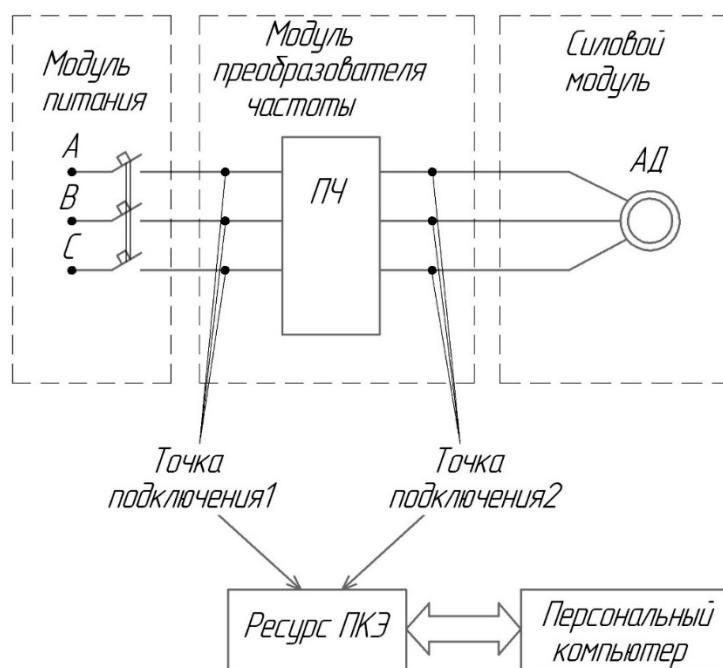


Рисунок 2 – Схематичное представление электрической сети с преобразователем частоты

В качестве средства измерения гармонических составляющих напряжения на объекте исследования использовался прибор-анализатор качества электрической энергии «Ресурс-ПКЭ» модификации «Ресурс-ПКЭ-1.7-ои-А» (рис. 3), предназначенный для автоматических измерений показателей КЭ в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30-2013 для оценки соответствия значений показателей КЭ установленным нормам согласно ГОСТ 32144-2013 [4]. Прибор является сертифицированным оборудованием и имеет свидетельство о поверке №19-0320 [2].

С помощью прибора «Ресурс-ПКЭ» в данном случае измеряются значения суммарных гармонических составляющих напряжения (K_U) и коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения ($K_{U(n)}$). С помощью персонального компьютера, подключенного к Ресурсу-ПКЭ через интерфейс RS-232, визуализируются все полученные результаты измерений.



Рисунок 3 – Передняя панель прибора «Ресурс-ПКЭ»

Результаты и обсуждение

Для измерения показателей качества электрической энергии использовались две точки подключения «Ресурс-ПКЭ»: точка подключения 1 использовалась для подключения прибора на входе преобразователя частоты, а точка подключения 2 – на его выходе.

Результаты мониторинга основных показателей качества электрической энергии при подключении прибора к точке 1 представлены на рисунке 4. Из результатов видно, что ни один из показателей качества электрической энергии, включая суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжений и коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения, не выходят за нормируемые значения, установленные ГОСТ 32144-2013 [4]. То есть на участке электрической сети от источника питания до преобразователя частоты значения гармонических составляющих напряжения не превышают нормативных значений согласно [4].

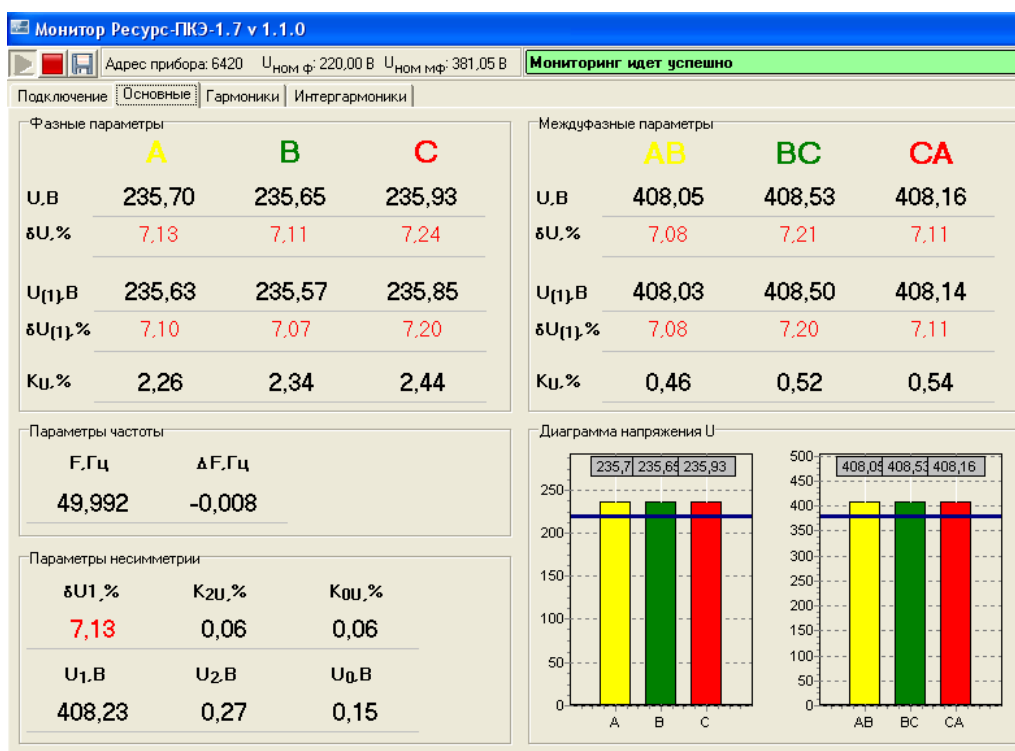


Рисунок 4 – Результаты мониторинга основных показателей качества электрической энергии в точке подключения 1

Однако в точке подключения 2 результаты совершенно иные (рис. 5). Из рисунка 5 видно, что значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения превышают нормируемые значения в несколько раз. Для сравнительного анализа результатов измерений K_U , значения измерений данного показателя качества электрической энергии на входе преобразователя частоты (точка подключения 1) и на его выходе (точка подключения 2) сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения суммарного коэффициента
гармонических составляющих напряжения

Место измерений	Значение K_U на фазе А, %	Значение K_U на фазе В, %	Значение K_U на фазе С, %
На входе преобразователя частоты (точка подключения 1)	2,26	2,34	2,44
На выходе преобразователя частоты (точка подключения 2)	32,70	31,34	31,70

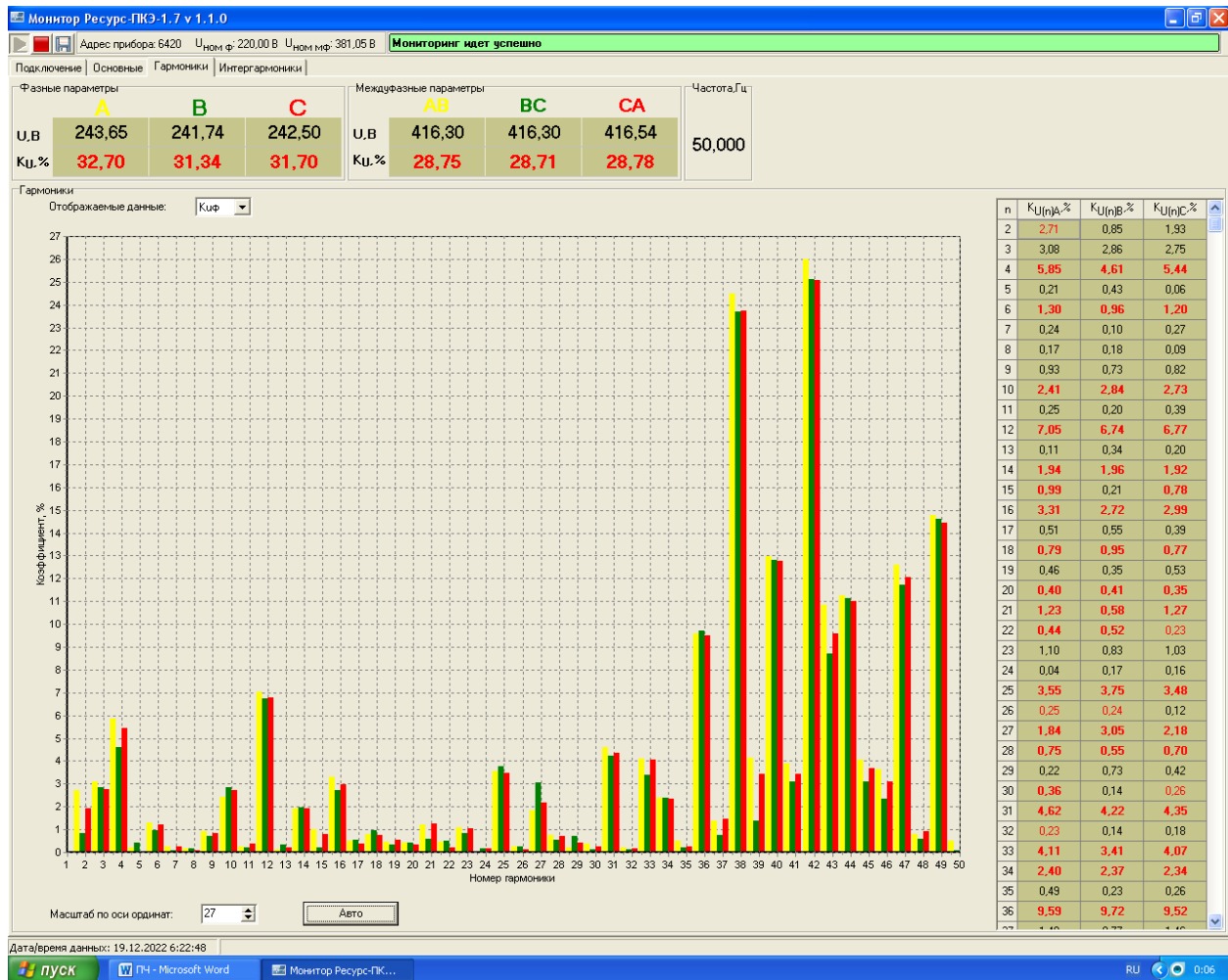


Рисунок 5 – Результаты мониторинга основных показателей качества электрической энергии в точке подключения 2

Та же картина обнаружилась и для коэффициентов n -ой гармонической составляющей напряжения (табл. 2). На всех фазах значения $K_{U(n)}$ для большинства гармоник превышают нормированные значения, установленные ГОСТ 32144-2013. Данные значения $K_{U(n)}$ представлены в таблице 2 жирным шрифтом.

Таблица 2

Данные коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения на выходе преобразователя частоты

№ гармоники	Значение $K_{U(n)}$ на фазе А, %	Значение $K_{U(n)}$ на фазе В, %	Значение $K_{U(n)}$ на фазе С, %
2	2,71	0,85	1,93
3	3,08	2,86	2,75
4	5,85	4,61	5,44
5	0,21	0,43	0,06
6	1,30	0,96	1,20
7	0,24	0,10	0,27
8	0,17	0,18	0,09
9	0,93	0,73	0,82
10	2,41	2,84	2,73
11	0,25	0,20	0,39
12	7,05	6,74	6,77
13	0,11	0,34	0,20

14	1,94	1,96	1,92
15	0,99	0,21	0,78
16	3,31	2,72	2,99
17	0,51	0,55	0,39
18	0,79	0,95	0,77
19	0,46	0,35	0,53
20	0,40	0,41	0,35
21	1,23	0,58	1,27
22	0,44	0,52	0,23
23	1,10	0,83	1,03
24	0,04	0,17	0,16
25	3,55	3,75	3,48
26	0,25	0,24	0,12
27	1,84	3,05	2,18
28	0,75	0,55	0,70
29	0,22	0,73	0,42
30	0,36	0,14	0,26
31	4,62	4,22	4,35
32	0,23	0,14	0,18
33	4,11	3,41	4,07
34	2,40	2,37	2,34
35	0,49	0,23	0,26
36	9,63	9,78	9,53
37	1,37	0,71	1,43
38	24,50	23,73	23,75
39	4,15	1,49	3,29
40	12,92	12,76	12,69

То есть на участке исследуемой электрической сети от преобразователя частоты до асинхронного трёхфазного электродвигателя значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения и коэффициентов n -ой гармонической составляющей напряжения не соответствуют нормативным значениям, установленным [4]. Следовательно, на данном участке электрической сети качество электрической энергии по данным показателям не соответствует установленным нормам.

Заключение и выводы

Резюмируя всё вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Преобразователь частоты, как и любой другой полупроводниковый преобразователь, является источником гармонических составляющих напряжения.
2. На выходе преобразователя частоты значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения и коэффициентов n -ой гармонической составляющей напряжения не соответствуют нормативным значениям, установленным ГОСТ 32144-2013.
3. На входе преобразователя частоты качество электрической энергии по таким показателям качества, как суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения и коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения, соответствуют установленным нормам.

Объяснить соответствие суммарного коэффициенты гармонических составляющих напряжения и коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения установленным нормам можно тем, что для уменьшения неблагоприятного влияния гармонических искажений, создаваемых преобразователем частоты в процессе работы, на электросеть в самом преобразователе частоты используется фильтрация в виде LC-фильтра звена постоянного тока (ЭМС-фильтр) [5]. ЭМС-фильтры обеспечивают соблюдение норм по электромагнитной совместимости технических средств и защищают от токов утечки, вызванных емкостью проводников [6]. В совокупности с экранированным кабелем двигателя достигается нормальная работа техники.

Литература

1. Акимов, М. Н. Основы электромагнитной безопасности : учеб. пособие / М. Н. Акимов, С. М. Аполлонский. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 200 с. – Текст : непосредственный.
2. Антонов, А. И. Повышение качества функционирования электрических сетей на основе компьютерного моделирования несимметричных режимов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / А. И. Антонов. – Новосибирск, 2020. – 187 с. – Текст : непосредственный.
3. Денчик, Ю. М. Электромагнитная совместимость технических средств в примерах и задачах: учеб. пособие / Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин, А. А. Руппель. – Омск : ОИВТ, 2017. – 128 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст. : дата введения 2014-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 16 с. – Текст: непосредственный.
5. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин / И. П. Копылов. – М. : Высшая школа. – 1994. – 318 с. – Текст : непосредственный.
6. Копылов, И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – М. : Энергаториздат. – 1986. – 457 с. – Текст : непосредственный.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ПЕРЕТОКА
АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЧЕНИИ
С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Васьковская Анастасия Викторовна
ведущий специалист АО «Системный оператор
Единой энергетической системы» – Омское РДУ,
Омск, Россия
E-mail: nastya-7798@inbox.ru

Шепелев Александр Олегович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: a_shepelev@ugrasu.ru

Шепелева Елена Юрьевна
старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: e_shepeleva@ugrasu.ru

Предмет исследования: в настоящей работе проводится оценка возможности внедрения в задачу расчёта максимально и аварийно допустимых перетоков активной мощности с учётом тепловых режимов воздушных линий при планировании электроэнергетических режимов.

Цель исследования: определение влияния тепловых процессов в линиях электропередачи на максимально допустимый переток активной мощности в контролируемых сечениях электроэнергетических систем.

Методы и объекты исследования: рассмотрены такие факторы, влияющие на перетоки активной мощности, как температура окружающего воздуха, корректировка на которую в настоящее время производится Системным оператором, скорость ветра, солнечная радиация и непосредственно нагрев от протекающего тока. Произведено моделирование установившегося электроэнергетического режима в программном комплексе RastrWin3 и Mathcad для 2-узловой схемы с утяжелением режима только с учетом температуры окружающей среды и расчеты установившегося режима уже с учетом вариации погодных параметров с учетом возможных ограничений максимальной нагрузки, обусловленных режимами работы энергосистемы (техническая возможность работы генерирующего оборудования в рассматриваемой работе не учитывалась).

Результаты исследования: в результате произведённых расчетов наглядно видно, что при учете тепловых режимов воздушных линий электропередачи допустимые перетоки активной мощности отличаются на 16-26% от значений, определяемых только лишь при учёте температуры окружающей среды.

Ключевые слова: электроэнергетический режим, допустимый переток активной мощности, температурные режимы, воздушные линии электропередачи.

**DETERMINATION OF THE MAXIMUM ALLOWABLE ACTIVE POWER
FLOW IN THE SECTION TAKING INTO ACCOUNT THE THERMAL CONDITIONS
OF POWER TRANSMISSION LINES**

Anastasiya V. Vas'kovskaya

Lead Specialist

*System Operator of the Unified Energy System – JSC,
Omsk, Russia*

E-mail: nastya-7798@inbox.ru

Alexander O. Shepelev

Candidate of Technical Sciences,

Assistant Professor,

Yugra State University,

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: a_shepelev@ugrasu.ru

Elena Yu. Shepeleva

Senior Lecturer,

Yugra State University,

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: e_shepeleva@ugrasu.ru

Subject of research: This paper assesses the possibility of introducing into the task of calculating maximum and emergency allowable active power flow, taking into account the thermal modes of overhead lines when planning electric power regimes.

Purpose of research: determine the effect of thermal processes in power lines on the maximum allowable active power flow in controlled sections of electric power systems.

Methods and objects of research: Such factors influencing active power flow as ambient air temperature, which is currently corrected by the Russian Power System Operator, wind speed, solar radiation and direct heating from flowing current are considered. Simulation of steady state flow in the software package RastrWin3 and Mathcad for a 2-bus scheme with mode only taking into account the ambient temperature and the calculations of steady state flow were already taking into account variations in weather parameters, taking into account possible restrictions on the maximum load due to the modes of operation of the power system (technical feasibility generating equipment was not taken into account in the work under consideration).

Main results of research: the result of calculation, it is clearly seen that when taking into account the thermal conditions of overhead power lines, the allowable active power flows differ by 16–26 % from the values determined only when taking into account the ambient temperature.

Keywords: electric power mode, allowable active power flow, temperature modes, overhead power lines.

Введение

Планирование электроэнергетического режима – одна из основных задач оперативно-диспетчерского управления, и заключается она в определении состава генерирующего оборудования и загрузки электростанций различного типа для покрытия нагрузки энергосистемы. Задача планирования электроэнергетического режима не производится без расчёта максимально допустимого и аварийно допустимого перетоков активной мощности в контролируемом сечении. В настоящее время в Российской Федерации планирование режимов работы

как для планового диспетчерского графика, так и для выбора состава генерирующего оборудования осуществляется только с учетом температуры окружающей среды [1], при этом не учитываются другие факторы, влияющие на температуру токопроводящих частей: солнечное излучение, скорость и направление ветра. В работе предлагается на этапе расчёта установившегося режима учесть факторы, влияющие на фактическую температуру проводников, и произвести оценку перетоков активной мощности в контролируемом сечении.

В основе обеспечения устойчивого функционирования ЭЭС лежит расчёт и анализ допустимых перетоков активной мощности в контролируемом сечении (фактически анализ статической апериодической устойчивости). Изначально анализ данного вида устойчивости в крупных ЭЭС представлял собой сложную задачу. Однако благодаря развитию возможностей персональных компьютеров, а также полноте теоретических исследований, определение запасов устойчивости на основе анализа установившихся режимов является одной из основных функций оперативно-диспетчерского управления [2].

Дальнейшим этапом в определении запасов статической апериодической устойчивости на основе анализа установившихся режимов становится возможность учитывать тепловые процессы, происходящие в элементах ЭЭС [3–6].

Надежность обеспечения промышленных и бытовых потребителей электрической энергии значительно зависит от оборудования, находящегося в эксплуатации, в том числе и от проводника воздушной линии электропередачи. Одним из наиболее важных критериев оценки допустимости электроэнергетического режима является допустимый ток (в т. ч. допустимый переток мощности). Важно отметить, что воздушные линии электропередачи являются наиболее надежным способом передачи электрической энергии. Основными факторами, влияющими на нагрев и охлаждение проводника воздушной линии, являются джоулевы потери, инфракрасное излучение, конвекция (естественная или вынужденная) и солнечная радиация [7–10].

Солнечная радиация в то же время вносит ощутимое влияние только в регионах с жарким климатом, и поэтому в регионах средней полосы может не учитываться [10, с. 6].

Множественные проведённые исследования показали, что активное сопротивление, как один из параметров элементов ЭЭС, не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от температурных факторов и может значительно повлиять на параметры электроэнергетического режима. Это связано с тем, что активное сопротивление изменяется в широком диапазоне рабочих температур от -50 до $+90$ градусов Цельсия. Т. е., фактически, активное сопротивление линий электропередачи может изменяться вплоть до 50 %, таким образом влияя на пропускную способность элемента. Это, в свою очередь, влияет на запасы по статической апериодической устойчивости. Однако на сегодняшний день в практических расчетах установившихся режимов и оценке запасов статической устойчивости малое внимание уделяется учету фактической температуры элементов, окружающей среды, – соответственно, активное сопротивление принимают постоянным, не зависящим от температуры. Это допущение может сильно влиять на оценку запасов статической устойчивости в ЭЭС.

Результаты и обсуждение

Моделирование электроэнергетического режима электрической системы произведём в программном продукте RastrWin3 и программном комплексе Mathcad. Для расчёта максимально и аварийно допустимого перетоков активной мощности воспользуемся методом последовательного утяжеления.

В работе были смоделированы установившиеся электроэнергетические режимы для двух узловых схемы, моделирующей генератор (ШБМ)-линию электропередачи-нагрузку.

2-узловая схема. Исходные параметры для моделирования 2-узловой схемы представлены в таблицах 1 и 2 (узлы и ветви, соответственно).

Таблица 1 – Исходные данные

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$P, \text{МВт}$	$Q, \text{Мвар}$	Марка провода	$L, \text{км}$
110	40	15	АС-95/16	30

Таблица 2 – Параметры провода АС-95/16

Диаметр провода $d_{\text{пр}}$	0.0135 м
Погонное активное сопротивление при 20°C r_{20}	0.301 Ом/км
Погонное индуктивное сопротивление x_0	0.434 Ом/км
Погонная емкостная проводимость b_0	2.611 мкСм/км
Температурный коэффициент сопротивления α	0.00403 °C ⁻¹
Степень черноты поверхности провода ϵ_n	0.6
Поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения A_s	0.6
Допустимая температура провода $\Theta_{\text{доп}}$	90 °C

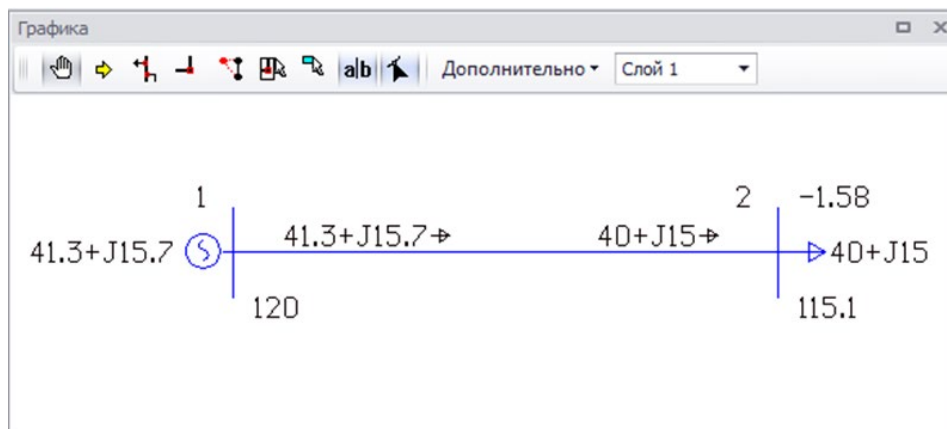


Рисунок 1 – 2-узловая схема

Расчет с учётом изменения температуры окружающей среды в соответствии с требованиями системного оператора

Сначала произведём расчёт с учётом температуры окружающей среды $t_{\text{окр}} = +25$ °C, которая считается номинальной для воздушных линий электропередачи [11].

Рисунок 2 – Токовая нагрузка ЛЭП при $t = +25$ °C

Таблица 3 – Расчетные данные для $t = +25$ °C

Переток, МВт	$I_{\text{ДДТН}}, \text{А}$	$I_{\text{АДТН}}, \text{А}$	$\frac{I}{I_{\text{допДДТН}}}, \%$	$\frac{I}{I_{\text{допАДТН}}}, \%$
41.3	330	420	64.9	51

Далее производится расчёт для температуры окружающей среды $t_{\text{окр}} = +10$ °C и $t_{\text{окр}} = -10$ °C.

*Определение максимально допустимого перетока активной мощности
в сечении с учетом тепловых режимов линий электропередачи*

	Номер	Название	Шаг	PN_2	QN_2
1		инициализация		40	15
2	1	Шаг [1]-[1.0000]	1,0000	45	17
3	2	Шаг [2]-[2.0000]	2,0000	50	19
4	3	Шаг [3]-[3.0000]	3,0000	55	21
5	4	Шаг [4]-[4.0000]	4,0000	60	23
6	5	Шаг [5]-[5.0000]	5,0000	65	24
7	6	Шаг [6]-[5.5000]	5,5000	68	25

1 выбрано 7 записей из 7 Конструктор фильтра...

Рисунок 3 – Утяжеление режима при температуре окружающей среды $t_{окр} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$

	N_нач	N_кон	Название	P_нач	P_кон	Место	контр.Г	Tc	Iдоп_25_ДДТН	N_Г(Г)_ДДТН	Iдоп_расч_ДДТН	I/I_доп_ДДТН	Iдоп_25_АДТН	N_Г(Г)_АДТН	Iдоп_расч_АДТН
1	1	2	-	-71	-67	ВН	✓	10,0	330,0	1	381,2	98,1	420,0	1	485,1

bp=0 выбрана 1 запись из 1 Конструктор фильтра...

Рисунок 4 – Токсовая нагрузка ЛЭП при температуре окружающей среды $t_{окр} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$

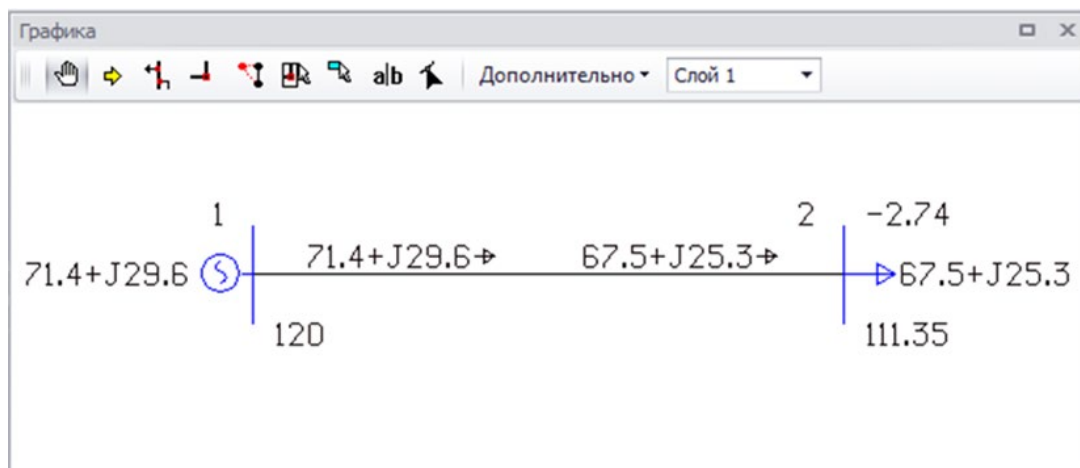


Рисунок 5 – 2-узловая схема с утяжелением режима для $t_{окр} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 4 – Расчетные данные для $t_{окр} = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Переток, МВт	$I_{ДДТН}$, А	$I_{АДТН}$, А	$\frac{I}{I_{допДДТН}}$, %	$\frac{I}{I_{допАДТН}}$, %
71.4	381.2	485.1	98.1	77.1

Номер	Название	Шаг	PN_2	QN_2
1	инициализация		40	15
2	Шаг [1]-[1.0000]	1,0000	45	17
3	Шаг [2]-[2.0000]	2,0000	50	19
4	Шаг [3]-[3.0000]	3,0000	55	21
5	Шаг [4]-[4.0000]	4,0000	60	23
6	Шаг [5]-[5.0000]	5,0000	65	24
7	Шаг [6]-[6.0000]	6,0000	70	26
8	Шаг [7]-[7.0000]	7,0000	75	28
9	Шаг [8]-[7.2500]	7,2500	76	29

1 выбрано 9 записей из 9 Конструктор фильтра...

Рисунок 6 – Утяжеление режима при температуре окружающей среды $t_{окр} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

N_нач	N_кон	Название	P_нач	P_кон	Место	контр. I	Tc	Iдон_25_ДДТН	N_I(t)_ДДТН	Iдон_расч_ДДТН	I/I_дон_ДДТН	Iдон_25_АДТН	N_I(t)_АДТН	Iдон_расч_АДТН
1	2	-	-81	-76	ВН	✓	-10,0	330,0	1	425,7	100,3	420,0	1	541,8

tr=0 выбрана 1 запись из 1 Конструктор фильтра...

Рисунок 7 – Токовая нагрузка ЛЭП при температуре окружающей среды $t_{окр} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

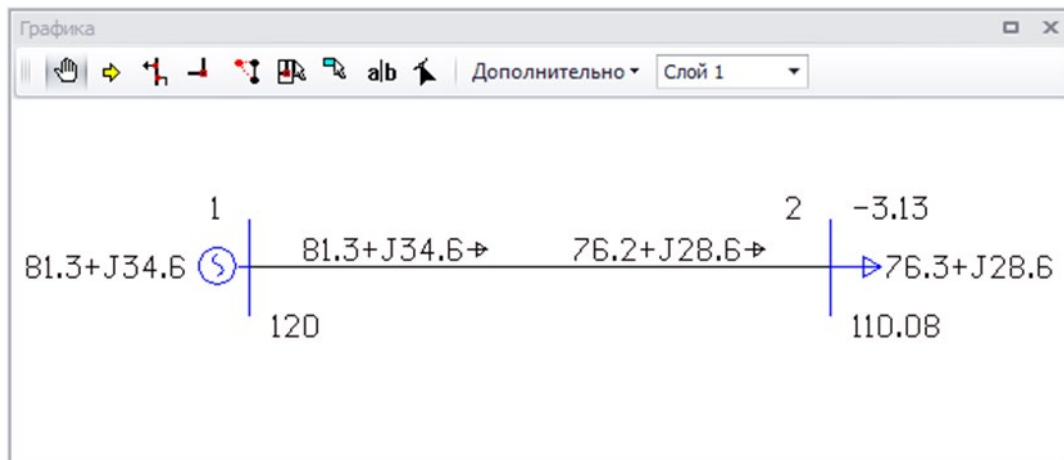


Рисунок 8 – 2-узловая схема с утяжелением режима для $t_{окр} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 5 – Расчетные данные для $t_{окр} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Переток, МВт	$I_{ДДТН}, \text{ A}$	$I_{АДТН}, \text{ A}$	$\frac{I}{I_{донДДТН}}, \%$	$\frac{I}{I_{донАДТН}}, \%$
81.3	425.7	541.8	100.3	78.8

Расчет с учетом неблагоприятных условий окружающей среды

Дополнительные исходные данные для неблагоприятных условий охлаждения представлены в таблице 6. Неблагоприятные условия выбраны в соответствии с данными [4, 9].

Таблица 6 – Исходные данные

Скорость ветра	0.6 м/с
Угол атаки ветра	0.55
Постоянная излучения	$5.67 \cdot 10^{-8}$, Вт/м ² · К ⁴
Солнечная радиация	0.7

Таблица 7 – Расчетные данные для $t = +10$ °С с утяжелением режима

Переток, МВт	$I_{\max}$, А	$\frac{I}{I_{\text{допДДТН}}}$, %	$\frac{I}{I_{\text{допАДТН}}}$, %
58	301.7	100	77.8

Таблица 8 – Расчетные данные для $t = -10$ °С с утяжелением режима

Переток, МВт	$I_{\max}$, А	$\frac{I}{I_{\text{допДДТН}}}$, %	$\frac{I}{I_{\text{допАДТН}}}$, %
67.9	353.7	100	77.8

Расчет допустимых перетоков мощности с учётом повышенной средней скорости ветра

Дополнительные исходные данные для благоприятных условий охлаждения представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные

Скорость ветра	3 м/с	
Угол атаки ветра	0.55	1
Постоянная излучения	$5.67 \cdot 10^{-8}$, Вт/м ² · К ⁴	
Солнечная радиация	0.7	

Таблица 10 – Расчетные данные для $t = +10$ °С с утяжелением режима при $v = 3$ м/с

k_v	Переток, МВт	$I_{\max}$, А	$\frac{I}{I_{\text{допДДТН}}}$, %	$\frac{I}{I_{\text{допАДТН}}}$, %
0.55	87.6	459.5	100	77.8
1	115	608.5	100	77.8

Таблица 11 – Расчетные данные для $t = +10$ °С с утяжелением режима при $v = 3$ м/с

k_v	Переток, МВт	$I_{\max}$, А	$\frac{I}{I_{\text{допДДТН}}}$, %	$\frac{I}{I_{\text{допАДТН}}}$, %
0.55	102.3	538.8	100	77.8
1	134	712.9	100	77.8

Выводы

Таким образом, на основе полученных результатов моделирования рассматриваемой системы электроснабжения с 6-пульсным преобразователем, сравнивая результаты с существующими нормами по обеспечению качества электрической энергии, можно сделать следующие выводы.

Были выполнены расчеты установившихся режимов для 2-узловой схемы с утяжелением режима только с учетом температуры окружающей среды и расчеты установившегося режима уже с учетом вариации погодных параметров. В результате данных расчетов наглядно видно, что при учете тепловых режимов воздушных линий электропередачи допустимые перетоки активной мощности значительно отличаются от значений, определяемых только лишь при учёте температуры окружающей среды.

По результатам проведённых расчётов можно сделать вывод о том, что при наиболее худших условиях охлаждения наблюдается снижение перетоков мощности в контролируемых сечениях относительно расчёта режима в RastrWin3 с учётом корректировки длительно-допустимого тока относительно температуры окружающего воздуха. Так, например, в 2-узловой схеме величина максимально-допустимого перетока активной мощности снизилась на 18% ($P_{МДП_+10} = 58 \text{ МВт}$) и 16% ($P_{МДП_ -10} = 68 \text{ МВт}$) при температуре окружающего воздуха $+10^\circ\text{C}$ и -10°C , соответственно, относительно расчёта в RastrWin3 ($P_{МДП_Rastr_+10} = 71 \text{ МВт}$ и $P_{МДП_Rastr_ -10} = 81 \text{ МВт}$). При скорости ветра 3 м/с и $k_v = 0,55$ (угол атаки ветра) величина максимально-допустимого перетока активной мощности увеличилась на 24% ($P_{МДП_+10} = 88 \text{ МВт}$) и 26% ($P_{МДП_ -10} = 102 \text{ МВт}$) при температуре окружающего воздуха $+10^\circ\text{C}$ и -10°C , соответственно, относительно расчёта в RastrWin3. В остальных рассмотренных случаях и схемах, результаты получились со схожей тенденцией.

Литература

1. Требования к обеспечению надёжности электроэнергетических систем, надёжности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем»: Приказ Министерства энергетики РФ от 3 августа 2018 г. № 630. – Текст : непосредственный.
2. Об электроэнергетике: Федер. закон [принят Гос. Думой 26.03.2003 № 35-ФЗ, ред. от 03.07.2016] : справочная правовая система Консультант Плюс (интернет-версия). – Текст : электронный. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 11.03.23).
3. Frank, S. Temperature-Dependent Power Flow / S. Frank, J. Sexauer, S. Mohagheghi. – DOI: 10.1109/TPWRS.2013.2266409 // IEEE Transactions on Power System. – 2013. – Vol. 28, № 4. – Pp. 4007–4018.
4. Гиршин, С. С. Разработка усовершенствованных методов расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом температурной зависимости активных сопротивлений ВЛ / С. С. Гиршин, А. О. Шепелев. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 2019. – № 11. – С. 44–54.
5. Шепелев, А. О. Применение метода внутренней температурной коррекции для расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом тепловых процессов в элементах / А.О. Шепелев. – Текст : непосредственный // Промышленная энергетика. – 2020. – № 9. – С. 9–19.
6. Данилов, М. И. Определение потоков мощности и температуры проводов электрической сети установившегося состояния энергосистемы / М. И. Данилов, И. Г. Романенко. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 2022. – № 7. – С. 25–37.
7. IEEE Std. 738-2012. (Revision of IEEE Std 738-2006 – Incorporates IEEE Std 738-2012 Cor 1–2013). Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors. – NY, The USA: IEEE, 2012. – 72 p.
8. CIGRE. Guide for thermal rating calculations of overhead lines / Working group B2.43. – 2014.
9. Методика расчёта предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий: СТО 56947007-29.240.55.143–2013. – М. : ОАО «ФСК ЕЭС», – 2013. – 67 с. – Текст : непосредственный.
10. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи // РД 34.20.547 (МТ 34-70-037-87). – М. : ВНИИЭ, 1988. – 12 с. – Текст : непосредственный.
11. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 7-й выпуск. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2007. – 854 с. – Текст : непосредственный.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ
В СЕТЯХ 6-35 КВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Долгих Надежда Николаевна

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: n_dolgikh@ugrasu.ru

Осипов Дмитрий Сергеевич

профессор, доктор технических наук,

руководитель Политехнической школы

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: d_osipov@ugrasu.ru

Парамзин Александр Олегович

преподаватель,

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,

Ханты-Мансийск, Россия

E-mail: prado1404@yandex.ru

Предмет исследования: методы селективного определения отходящей линии с однофазным замыканием на землю на основе относительного замера высших гармоник.

Цель исследования: разработка метода программной фильтрации высокочастотных составляющих и метода идентификации линии с однофазным замыканием на землю.

Объект исследования: распределительные сети 6-35 кВ.

Методы исследования: вейвлет-преобразование токов и напряжений нулевой последовательности.

Основные результаты исследования: в статье предложена идея использовать вейвлет-преобразования для организации программной фильтрации тока нулевой последовательности с целью повышения чувствительности адмитансной защиты. На основе вейвлет-преобразования предложена модернизация алгоритма определения линии электропередачи с однофазным замыканием на землю по принципу относительного замера энергии спектра высших гармоник. В работе предложено энергию спектра определять по вейвлет коэффициентам дискретного вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, вейвлет-преобразование, режим нейтрали, высшие гармоники, преобразование Фурье.

**IDENTIFICATION OF SINGLE-PHASE GROUND FAULT
IN NETWORKS 6-35 KV USING THE WAVELET TRANSFORM**

Nadezhda N. Dolgikh

Senior Lecturer,

Yugra State University,

Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: n_dolgikh@ugrasu.ru

Dmitry S. Osipov

*Professor,
Head of the Polytechnic School,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: d_osipov@ugrasu.ru*

Alexander O. Paramzin

*Lecturer,
Yugra State University,*

Subject of research: methods for selective determination of an outgoing line with a single-phase earth fault based on the relative measurement of higher harmonics.

Purpose of research: to develop a method for software filtering of high-frequency components and a method for identifying a line with a single-phase ground fault.

Object of research: distribution networks 6-35 kV.

Methods of research: wavelet-transformation of zero-sequence currents and voltages.

Main results of research: the article proposes the idea of using the wavelet transform to organize software filtering of the zero-sequence current in order to increase the sensitivity of the admittance protection. On the basis of the wavelet transform, a modernization of the algorithm for determining a power line with a single-phase earth fault is proposed according to the principle of relative measurement of the energy of the spectrum of higher harmonics. The paper proposes to determine the energy of the spectrum by the wavelet coefficients of the discrete wavelet transform.

Keywords: single-phase ground fault, wavelet transform, neutral mode, high harmonics, Fourier transform.

Введение

Общая протяженность электрических распределительных сетей 6-35 кВ в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре превышает 12 тыс. км, а число трансформаторных подстанций классом напряжения 6(10) – 35 кВ составляет 5200 шт. При этом значительная часть линий электропередачи 6-35 кВ проходят в труднодоступных для обслуживания районах. Наиболее часто встречающимся видом повреждения в распределительных сетях напряжением 6-35 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). В электросетевых компаниях отмечают, что ежегодно от 70 до 90 % от общего числа повреждений, возникающих в электрических сетях данного класса, приходится на долю ОЗЗ. Для обеспечения надежности питания нефтедобывающих предприятий автономного округа требуется обеспечение условий, при которых обеспечивается безаварийная работа сети с ОЗЗ в течение времени, достаточного для определения отходящей линии с замыканием и нахождения поврежденного участка на трассе. Такой подход позволяет предотвратить перерывы электроснабжения потребителей и минимизировать ущербы от недодобычи нефти, вызванные отключением поврежденного участка сети. В электрических сетях 6-35 кВ с компенсацией емкостного тока находят применение максимальные токовые защиты, основанные использовании высших гармоник тока нулевой последовательности [1, с. 39]. Для анализа несинусоидальных процессов традиционно применяется преобразование Фурье, имеющее ряд ограничений при исследовании нестационарных и переходных процессов. Для анализа сложной динамики нестационарных несинусоидальных процессов в электросетевом комплексе находит применение математический аппарат вейвлет-преобразования [2]. Вейвлет-преобразование используется для анализа коротких замыканий в распределительных сетях [6, 7]. В настоящей работе представлена модернизация

существующих алгоритмов определения отходящей линии с однофазным замыканием на землю, где в качестве основного инструмента расчета высших гармоник применен метод вейвлет-преобразования.

Результаты и обсуждение

В настоящее время одним из видов релейной защиты для определения ОЗЗ являются защиты относительного замера высших гармоник, для достоверной работы которых требуется учет характеристик трансформаторов тока нулевой последовательности. В работе [3, с. 77] авторы отмечают, что производители трансформаторов тока «не приводят данные о передаче трансформатором гармоник тока, что значительно снижает точность оценки и выбора коэффициента чувствительности защит». В статье [4, с. 51] определены основные недостатки токовых защит нулевой последовательности, построенных на электромеханической и микроэлектронной, в результате проведенного исследования авторы приходят к выводу об актуальности и целесообразности развития цифровых токовых защит с применением микропроцессорной базы. Использование микропроцессорных устройств позволит значительно расширить круг применяемых алгоритмов анализа и обработки параметров высших гармоник. В частности, применение вейвлет-преобразования позволяет производить частотно-временной анализ не на аппаратном, а на программном уровне устройства.

Для анализа переходного процесса, возникающего при однофазном замыкании на землю в сетях с компенсированной нейтралью (наличие дугогасящего реактора), с целью определения тока в месте замыкания $i_{03}(t)$ следует применить комплексную схему замещения (рис. 1, привод. по [1, с. 40]).

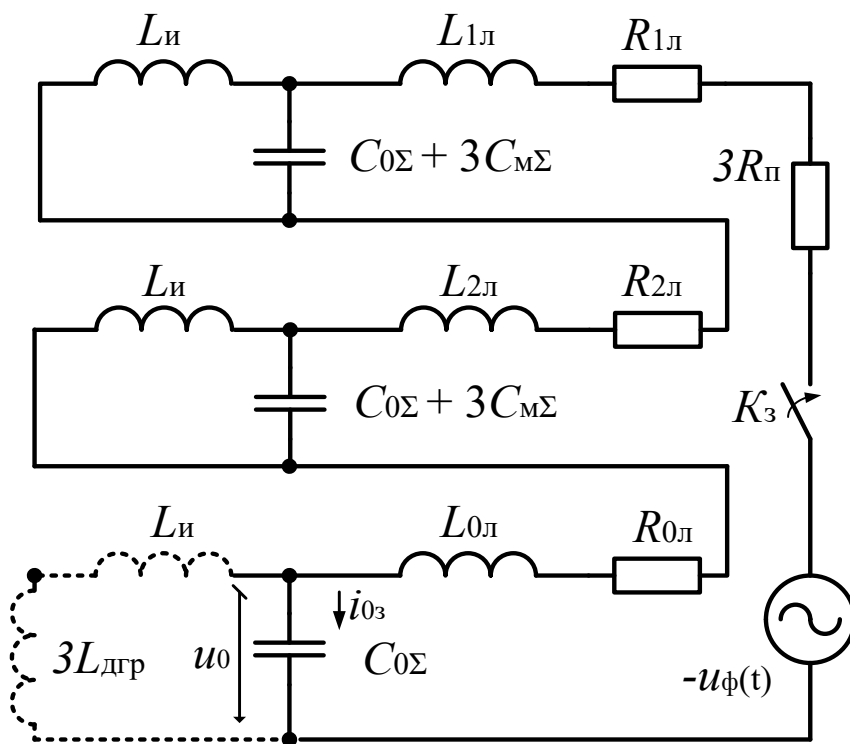


Рисунок 1 – Комплексная схема замещения электрической сети с ОЗЗ

Имитационное моделирование ОЗЗ в сети 10 кВ произведем в среде моделирования Matlab Simulink. От главной понизительной подстанции 110/10 кВ отходят 4 линии 10 кВ, на одной из которых будем имитировать ОЗЗ (рис. 2).

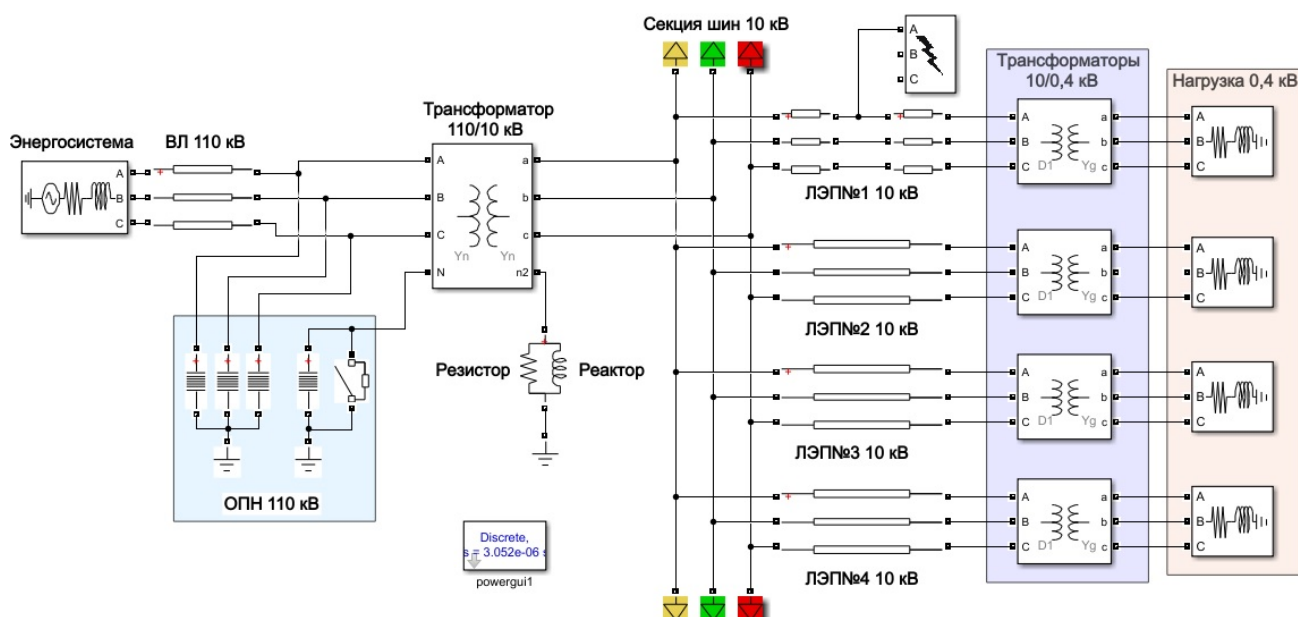


Рисунок 2 – Имитационная модель сети 10 кВ с компенсацией ёмкостных токов

В результате имитационного моделирования получена осциллограмма тока замыкания на землю для случая не оптимальной настройки дугогасящего реактора (рис. 3).

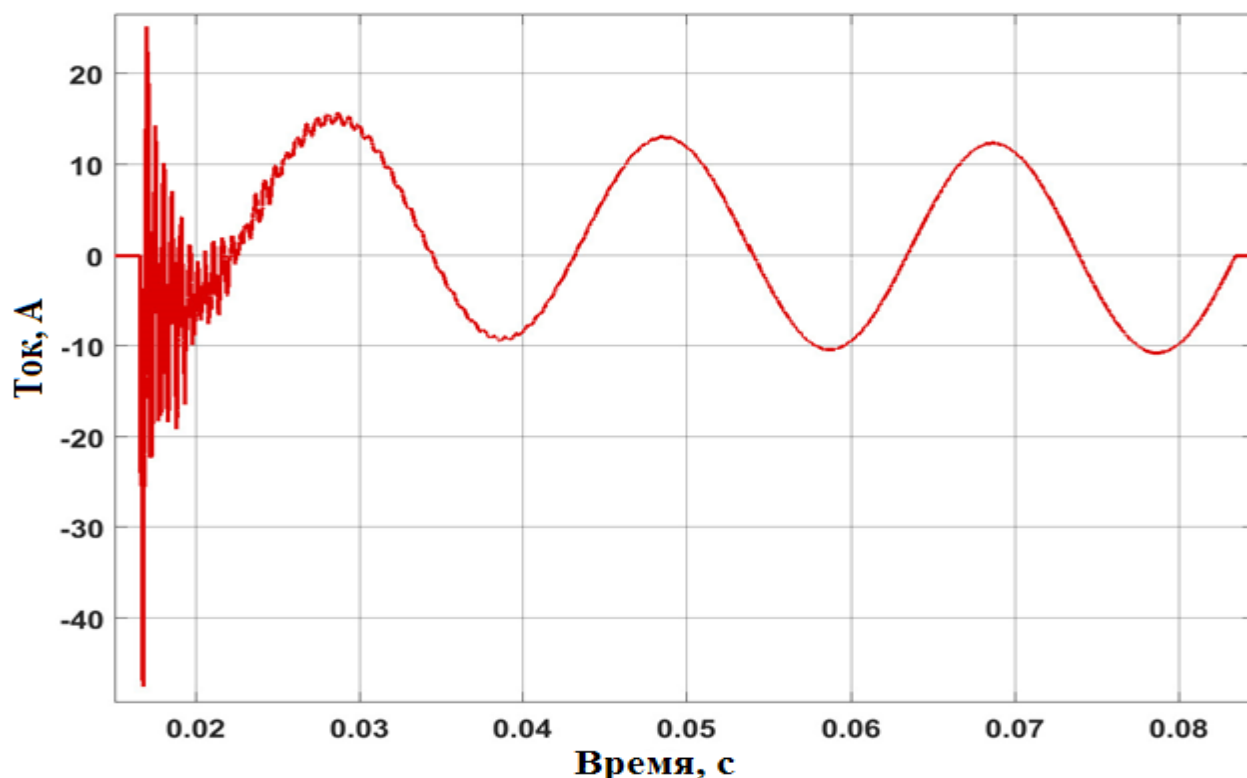


Рисунок 3 – Осциллограмма тока замыкания на землю

Результат быстрого преобразования Фурье осциллограммы тока однофазного замыкания на землю (рис. 4) позволяет зафиксировать действующее значение тока основной составляющей (50 Гц) на уровне 10,76 А и наличие существенных гармонических искажений (коэффициент суммарного гармонического искажения THD более 42 %). При этом фиксируется эффект растекания спектра.

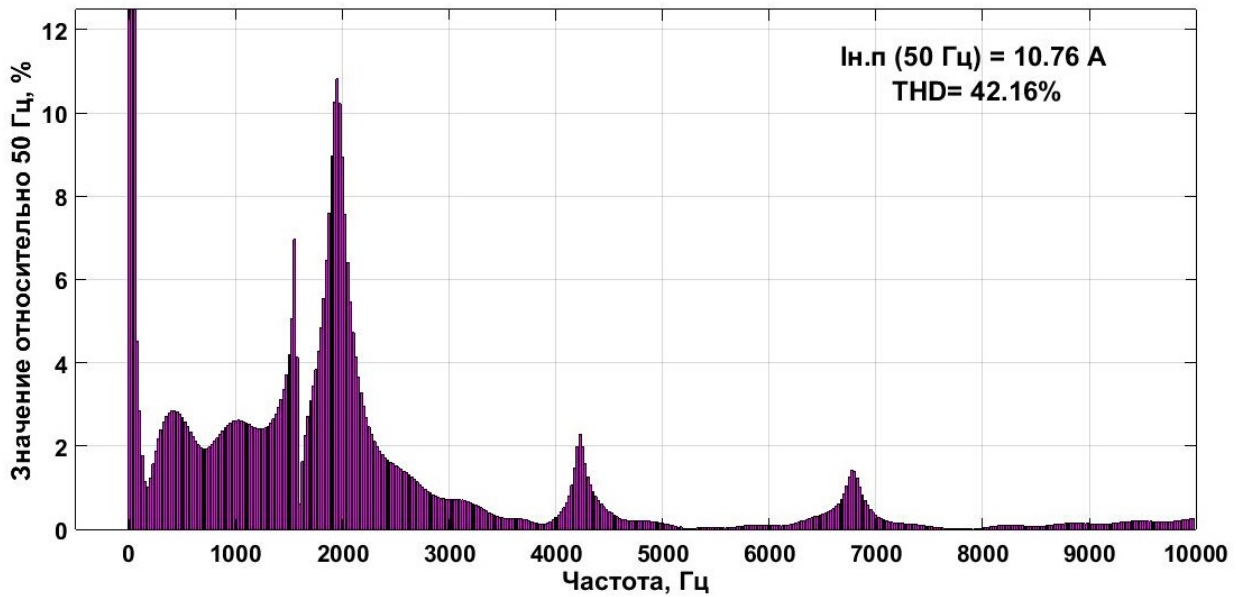


Рисунок 4 – Быстрое преобразование Фурье осциллограммы на рисунке 3

Возможности применения непрерывного вейвлет-преобразования для локализации замыканий в распределительных сетях представлены в работе [8], где авторы отмечают важность выбора функции материнского вейвлета. Проведем непрерывное вейвлет-преобразование осциллограммы тока замыкания на землю (рис. 5). В результате преобразования, фиксируется время, амплитуда, длительность присутствия и частота высших гармоник, возникающих при переходном процессе ОЗЗ.

Контроль емкости нулевой последовательности, по мнению авторов [5], позволит повысить чувствительность адмитансной защиты от ОЗЗ в сетях, преимущественно выполненных кабельными линиями. Авторы отмечают, что условием стабильности замера C_0 является необходимость подавления в токе нулевой последовательности высших гармоник с частотами, превышающими 1,5-2 кГц [5, с. 25]. Указанные частоты четко определены в результате непрерывного вейвлет-преобразования и представлены на скалограмме (рис. 5).

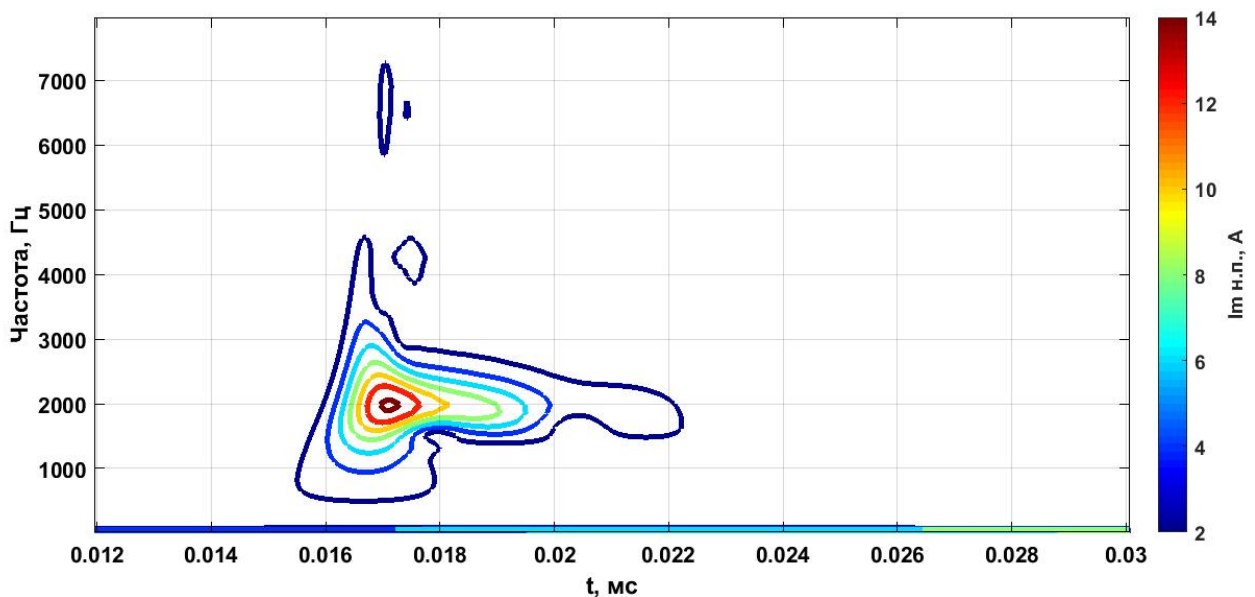


Рисунок 5 – Непрерывное вейвлет-преобразование осциллограммы на рисунке 3

Вейвлет-анализ позволяет производить цифровую фильтрацию сигналов. Для этого достаточно обнулить вейвлет-коэффициенты, отвечающие за соответствующий частотный диапазон. Таким образом, применение вейвлет-преобразования позволяет решить первую задачу, а именно – подавление (фильтрация) нежелательных частот на программном уровне работы цифровых устройств.

Для вейвлет-преобразования может быть сформулировано равенство Парсеваля, т. е. энергия исследуемой функции тока или напряжения может быть определена через величины вейвлет коэффициентов, полученных в результате преобразования:

$$E_u = \int u^2(t) dt = C_{\psi}^{-1} \iint V^2(a, b) \frac{da db}{a^2}. \quad (1)$$

Плотность энергии $E_{V(a,b)} = V_{2(a,b)}$ исследуемого сигнала напряжения может быть представлена отдельно для каждого энергетического уровня. Таким образом, для дискретного вейвлет-преобразования, при согласовании частотных групп с требованиями, сформулированными в ГОСТ 30804.4.7-2013, возможно нахождение действующего значения искомой гармоники и энергии спектра в пределах локализованного периода времени. Другими словами, ВП позволяет определять плотность энергии сигнала в локальной окрестности точки времени t_0 :

$$E_{\xi}(a, t_0) = \int E_V(a, b) \xi\left(\frac{b-t_0}{a}\right) db, \quad (2)$$

где ξ – оконная функция.

Расчет тока нулевой последовательности для поврежденной ($3I_{0\text{неп}}$) и поврежденной линии ($3I_{0\text{пов}}$) через аппроксимирующие (А) и детализирующие (D) вейвлет коэффициенты уровня разложения J, может быть произведен по формулам:

$$3I_{0\text{неп}} = \frac{3C_{0\text{собо}}}{N} \sqrt{\sum_{k \in Z} (i_{J_0,k}^A)^2 + \sum_{k \in Z} \sum_{j=J_0}^{J-1} (i_{j,k}^D)^2}, \quad (3)$$

$$3I_{0\text{пов}} = \frac{3(C_{0\Sigma} - C_{0\text{собо}})}{N} \sqrt{\sum_{k \in Z} (i_{J_0,k}^A)^2 + \sum_{k \in Z} \sum_{j=J_0}^{J-1} (i_{j,k}^D)^2}. \quad (4)$$

На основании формул (1-2) определяем энергию спектра для каждого частотного диапазона. Энергия спектра суммируется для каждой отходящей линии. Максимальная энергия спектра позволит выявить линию, где произошло ОЗЗ (рис. 6).

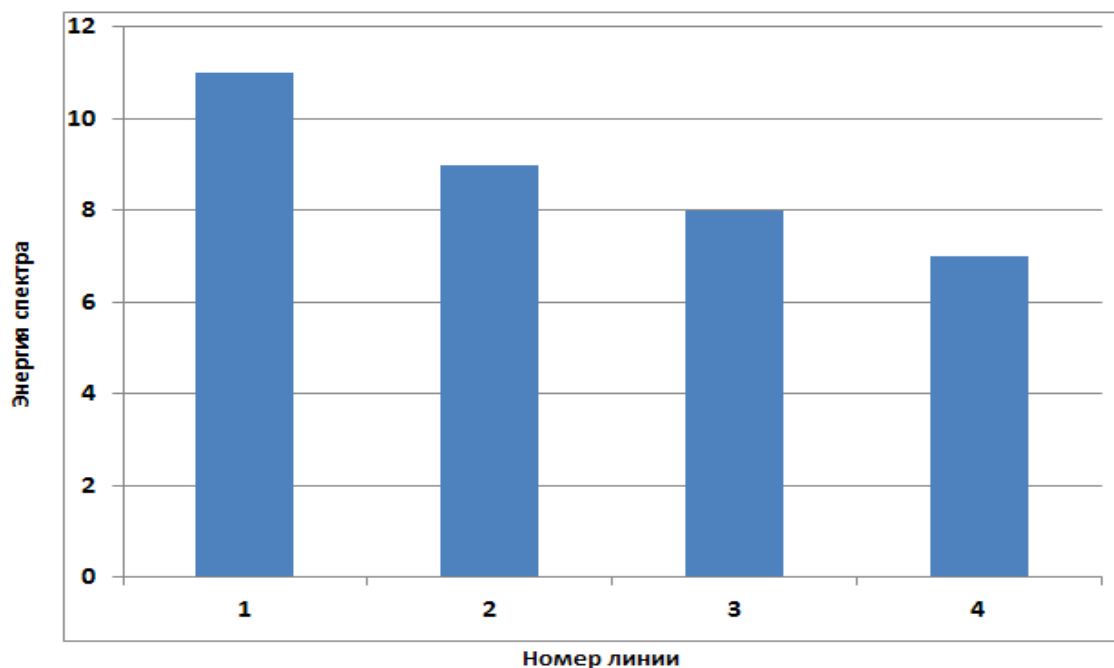


Рисунок 6 – Определение линии с ОЗЗ по максимальной энергии спектра вейвлет-преобразования

В имитационной модели (рис. 2) замыкание моделировалось для отходящей линии № 1. В результате сравнения энергии спектра высших гармоник по отходящим линиям № 1–№ 4 видим, что максимальная энергия представлена в линии № 1, что подтверждает корректность работы алгоритма.

Заключение и выводы

1. Разработка и модернизация алгоритмов определения отходящей линии при однофазном замыкании на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью остается актуальной и востребованной научно-технической задачей в электросетевом комплексе. Развитие цифровых технологий позволяет применять алгоритмы вейвлет-преобразования для частотной декомпозиции сигналов токов и напряжений нулевой последовательности, на которые реагируют защиты.

2. В работе представлена идея применения вейвлет-преобразования для программной фильтрации частот выше 1,5-2 кГц тока нулевой последовательности, что позволит повысить чувствительность адмитансных защит. Программная фильтрация представляется более надежной, по сравнению с применяемой аппаратной фильтрацией.

3. Произведена модернизация существующего алгоритма работы защиты и сигнализации ОЗЗ для цифровых устройств релейной защиты, основанного на принципе относительного замера гармоник. Предложенный алгоритм основан на определении энергии спектра, рассчитываемой по вейвлет-коэффициентам, полученным в результате преобразования.

Результаты работы могут быть использованы для организации цифровых алгоритмов для защиты и сигнализации об однофазных замыканиях на землю в распределительных сетях 6-35 кВ, работающих в режиме изолированной или компенсированной нейтрали.

Литература

1. Адаптивные токовые защиты от замыканий на землю в кабельных сетях 6 – 10 кВ / В. А. Шуин [и др.]. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 2018. – № 7. – С. 38–45.
2. Мисриханов, А. М. Применение методов вейвлет-преобразования в электроэнергетике / А. М. Мисриханов. – Текст : непосредственный // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 5. – С. 5–23.
3. Особенности применения специальных трансформаторов тока нулевой последовательности с устройствами защиты от замыканий на землю / Д. В. Батулько [и др.]. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2016. – № 4 (148). – С. 76–79.
4. Оценка чувствительности токовых защит от замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ / М. С. Аль-Хомиди [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2016. – №3. – С. 50–55.
5. Способ повышения эффективности функционирования адмитансной защиты от замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью / В. А. Шуин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 4. – С. 20–30.
6. Guo, M.-F. Wavelet-transform based early detection method for short-circuit faults in power distribution networks / M.-F. Guo, N.-C. Yang, L.-X. You // International journal of electric power and energy systems. – 2018. – Vol. 99, July. – Pp. 706–721. – DOI: 10.1016/j.ijepes.2018.01.013
7. Integrated use of time-frequency wavelet decompositions for fault location in distribution networks: theory and experimental validation / A. Borghetti [et al.] // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2010. – Vol. 25, issue 4. – Pp. 3139–3146. DOI: 10.1109/tpwrd.2010.2046655
8. Continuous-wavelet transform for fault location in distribution power networks: definition of mother wavelets inferred from fault originated transients / A. Borghetti [et al.] // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2008. – Vol. 23, issue 2. – Pp. 380–388. – DOI: 10.1109/TPWRS.2008.919249

**РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
ПРИ НАЛИЧИИ ИСТОЧНИКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК**

Ощепков Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Омский государственный
технический университет»,
Омск, Россия
E-mail: energoowa@mail.ru

Логунова Яна Юрьевна
ведущий специалист отдела планирования
учета и реализации энергоресурсов,
ООО «РН-Юганскнефтегаз»,
Нефтеюганск, Россия
E-mail: jana_logunova@mail.ru

Предмет исследования: резонансные режимы в электрических сетях 35/6/0,4 кВ нефтедобывающих предприятий.

Цель исследования: расчет частот, на которых возможно возникновение резонансных режимов, определение кратности перенапряжений в узлах электрической сети.

Объект исследования: распределительные электрические сети 35/6 кВ, группы нелинейных электроприемников 0,4 кВ, являющихся источниками гармонических искажений.

Основные результаты исследования: представлена методика расчета резонансных режимов при наличии источников высших гармоник. Определены частоты, на которых возможно возникновение резонансов, для каждого класса напряжения определены кратности возникающих перенапряжений. Проведены физические измерения уровней несинусоидальности с применением сертифицированного оборудования. На основании сравнения результатов расчета и фактического уровня высших гармоник в электрической сети, принимается технически обоснованное решение по установке фильтрокомпенсирующих устройств для подавления высших гармоник и недопущения аварийной ситуации.

Ключевые слова: резонанс токов, высшие гармоники, качество электроэнергии, батареи статических конденсаторов.

**CALCULATION OF RESONANT MODES IN ELECTRIC NETWORKS
IN CASE OF SOURCES OF HIGHER HARMONICS**

Vladimir A. Oshchepkov
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Omsk State Technical University
Omsk, Russia
E-mail: energoowa@mail.ru

Jana Yu. Logunova

*Leading Specialist of the Department of
Planning, Accounting and Sales of Energy Resources
Limited Liability Company "RN-Yuganskneftegaz"
Nefteyugansk, Russia
E-mail: jana_logunova@mail.ru*

Subject of research: resonant modes in electrical networks 35/6/0.4 kV of oil producing enterprises.

Purpose of research: calculation of frequencies at which the occurrence of resonant modes is possible, determination of the multiplicity of overvoltages in the nodes of the electrical network.

Object of research: distribution electrical networks 35/6 kV, groups of non-linear electrical receivers 0.4 kV, which are sources of harmonic distortion.

Main results of research: a method for calculating resonant modes in the presence of sources of higher harmonics is presented. The frequencies at which the occurrence of resonances is possible are determined; for each voltage class, the multiplicity of arising overvoltages is determined. Physical measurements of non-sinusoidality levels were carried out using certified equipment. Based on a comparison of the calculation results and the actual level of higher harmonics in the electrical network, a technically sound decision is made to install filter-compensating devices to suppress higher harmonics and prevent an emergency.

Keywords: current resonance, higher harmonics, power quality, static capacitor banks.

Введение

Качество электрической энергии влияет на размещение БСК в узлах систем электроснабжения. При наличии в системах электроснабжения крупных нелинейных нагрузок может произойти перегрузка конденсаторных батарей в присутствии токов высших гармоник питающей сети [6].

В частности, при наличии широкого спектра высших гармоник в кривой питающего напряжения может возникнуть режим резонанса на частотах, близких к частотам одной или нескольких высших гармоник, содержащихся в питающей сети. Возникающие резонансные режимы производят эффект усиления влияния высших гармоник на работу электрооборудования в частности, на БСК, усугубляя их перегрузку токами гармоник [5, 7]. В конечном счете, такая токовая перегрузка отрицательно сказывается на сроках эксплуатации конденсаторов, что приводит к перегреву и преждевременному выходу из строя конденсаторных батарей.

В работе [1] предложена и апробирована на практике авторская методика по определению резонансных режимов в узлах сети и порядков высших гармоник, на которых этот режим может возникнуть.

Авторы работы [4] провели исследование, доказавшее, что причиной периодических отключений и перегрузок БСК в системе электроснабжения ОАО «Ачинский НПЗ ВНК» было возникновение режима резонанса в контуре «БСК–понижающие трансформаторы 6/0,4 кВ».

Резонансные режимы могут возникнуть при изменении конфигурации СЭС, подключении (отключении) БСК, линий электропередачи, изменения нагрузки. Резонансные режимы могут существовать не только на высших гармоник, рекомендуемых для учета согласно ГОСТ 32144-2013, но и на частотах высокого порядка ($n > 40$). В работе [2] авторами было проведено исследование, которое показало существование резонансных на частотах выше 40-й гармоники.

Результаты и обсуждение

Произведем расчет резонансных режимов в электрической сети 110/35/6 кВ, питающей объекты нефтедобычи в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Схема исследуемой сети представлена на рисунке 1.

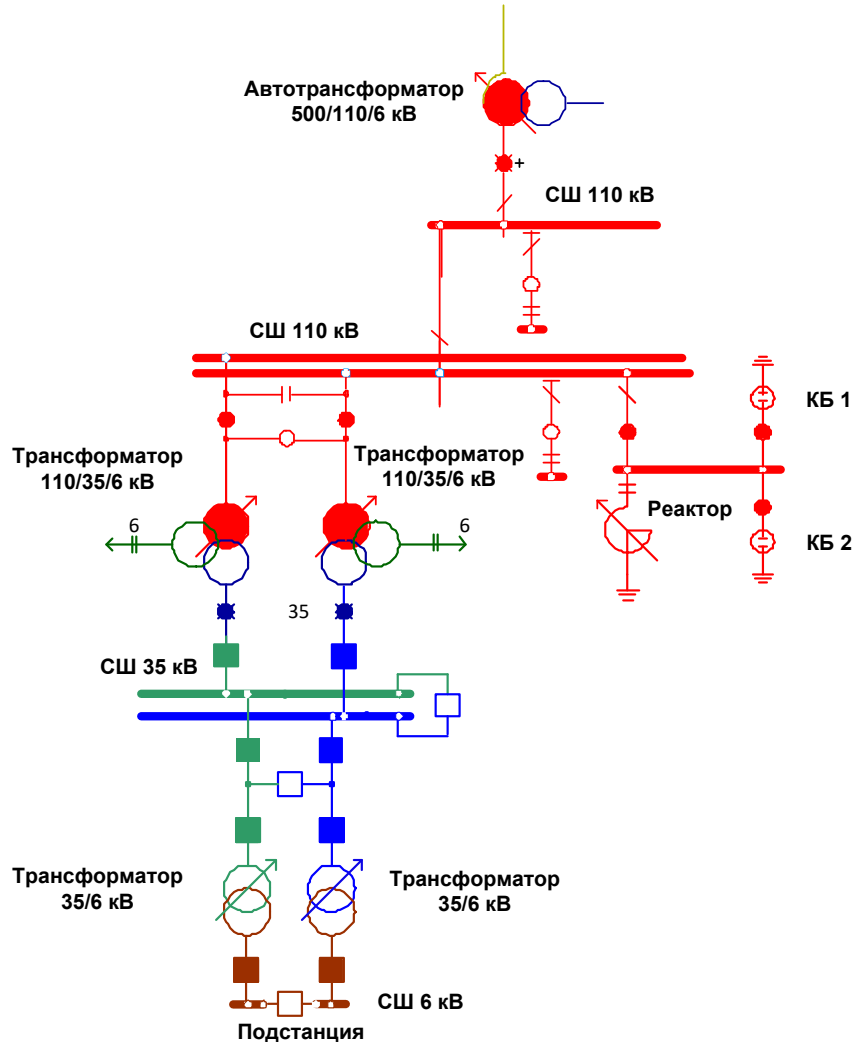


Рисунок 1 – Схема исследуемой электрической сети

На исследуемом объекте к шинам 0,4 кВ подключена нагрузка, питаемая через преобразователи напряжения. Для оценки возможности существования резонансных режимов (резонанса токов) в исследуемой системе на основании имеющейся схемы электрической сети составим схему замещения. Схема замещения исследуемой электрической сети приведена на рисунке 2.

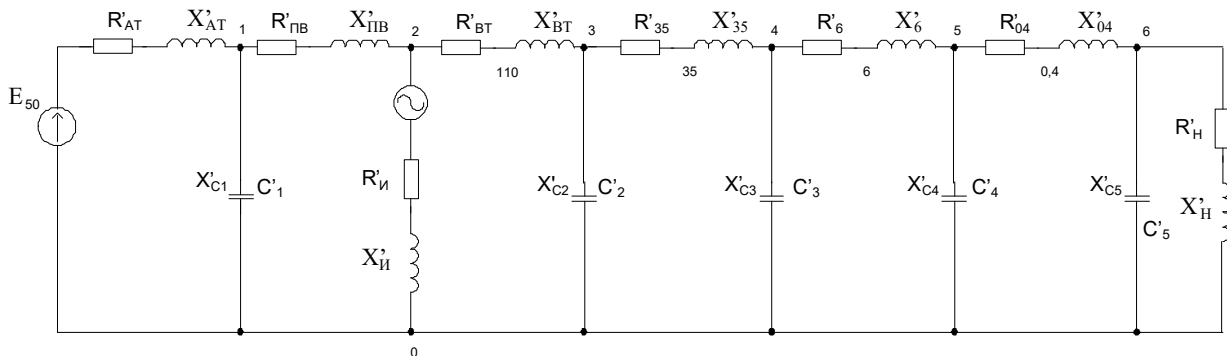


Рисунок 2 – Схема замещения участка электрической сети

На основании полученной схемы замещения, параметров трансформаторов, линий электропередачи и нагрузок составим уравнение в операторной форме для расчета режима по методу узловых потенциалов. Перед выполнением процедуры свертки схемы замещения представим реактивные сопротивления (индуктивные и емкостные) в операторной форме.

Индуктивное сопротивление в операторной форме имеет следующий вид:

$$X_L(p) = pL, \quad (1)$$

емкостное сопротивление выражается формулой:

$$X_C(p) = \frac{1}{pC}. \quad (2)$$

Далее необходимо произвести операцию свертки правой части схемы замещения относительно узлов «2» и «0». Рассмотрим в качестве примера первый этап преобразования схемы замещения. Параллельно нагрузке 0,4 кВ (представлена активно-индуктивной ветвью схемы замещения – R_n, X_n) подключена батарея статических конденсаторов, предназначенная для компенсации реактивной мощности (представлена емкостным сопротивлением X_{C5}). Результирующее сопротивление этого участка сети по правилу параллельного соединения элементов в операторной форме будет равно:

$$Z_6 = \frac{\frac{1}{pC_5}(R_i + pL_i)}{\frac{1}{pC_5} + R_i + pL_i} = \frac{R_i + pL_i}{1 + pC_5R_i + p^2C_5L_i} \quad (3)$$

Дальнейшие действия, направленные на преобразование схемы замещения электрической сети, будут выполняться аналогично с применением правил преобразования последовательно и параллельно соединенных ветвей.

В результате преобразования правая часть схемы замещения будет представлять собой одно эквивалентное сопротивление ($Z_{ЭКВ}$) в операторной форме. Левая часть схемы замещения содержит следующие элементы: активное ($R_{АТ}$) и индуктивное ($X_{АТ}$) сопротивления автотрансформатора, установленного на подстанции 1 (ПС 1), активное ($R_{ПВ}$), индуктивное ($X_{ПВ}$) сопротивления и емкость (C_1) ЛЭП, связывающей ПС 1 и секции шин (СШ) распределительного пункта (РП), активное ($R_{И}$) и индуктивное ($X_{И}$) сопротивления источника высших гармоник и источник питания (E_{50}). Полученная схема замещения представлена на рисунке 3, а параметры её элементов – в таблице 1.

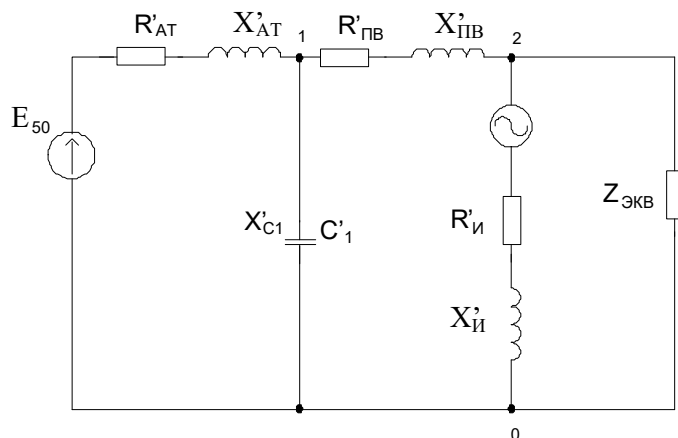


Рисунок 3 – Схема замещения после ряда эквивалентных преобразований

Таблица 1

Параметры элементов схемы замещения

$R_{АТ}, \text{Ом}$	$X_{АТ}, \text{Ом}$	$R_{ПВ}, \text{Ом}$	$X_{ПВ}, \text{Ом}$	$C_1, \text{Ф}$
0,024	$5,949 \cdot 10^{-3}$	2,531	0,014	$8,593 \cdot 10^{-6}$

Система уравнений, составленная по методу узловых потенциалов для рассматриваемой схемы (рисунок 3), имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \phi_1(Y_{AT} + Y_{PB} + Y_{C1}) - \phi_2 Y_{PB} &= 0 \\
 \phi_2(Y_{PB} + Y_{BT} + Y_{II}) - \phi_1 Y_{PB} - \phi_3 Y_{BT} &= E_{II} Y_{II} \\
 \phi_3(Y_{BT} + Y_{35} + Y_{C2}) - \phi_2 Y_{BT} - \phi_4 Y_{35} &= 0 \\
 \phi_4(Y_{35} + Y_6 + Y_{C3}) - \phi_3 Y_{35} - \phi_5 Y_6 &= 0 \\
 \phi_5(Y_6 + Y_{04} + Y_{C4}) - \phi_4 Y_6 - \phi_6 Y_{04} &= 0 \\
 \phi_6(Y_{04} + Y_H + Y_{C5}) - \phi_5 Y_{04} &= 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

Графические зависимости кратности перенапряжения от частоты для различных классов напряжения представлены на рисунках 4–7. Максимальные кратности перенапряжения (K_U), частоты, на которых возможен режим резонанса (f) и порядок ВГ, на частотах которых возможен резонанс (n) при различных классах напряжения (U) (в различных точках рассматриваемой сети), представлены в таблице 2.

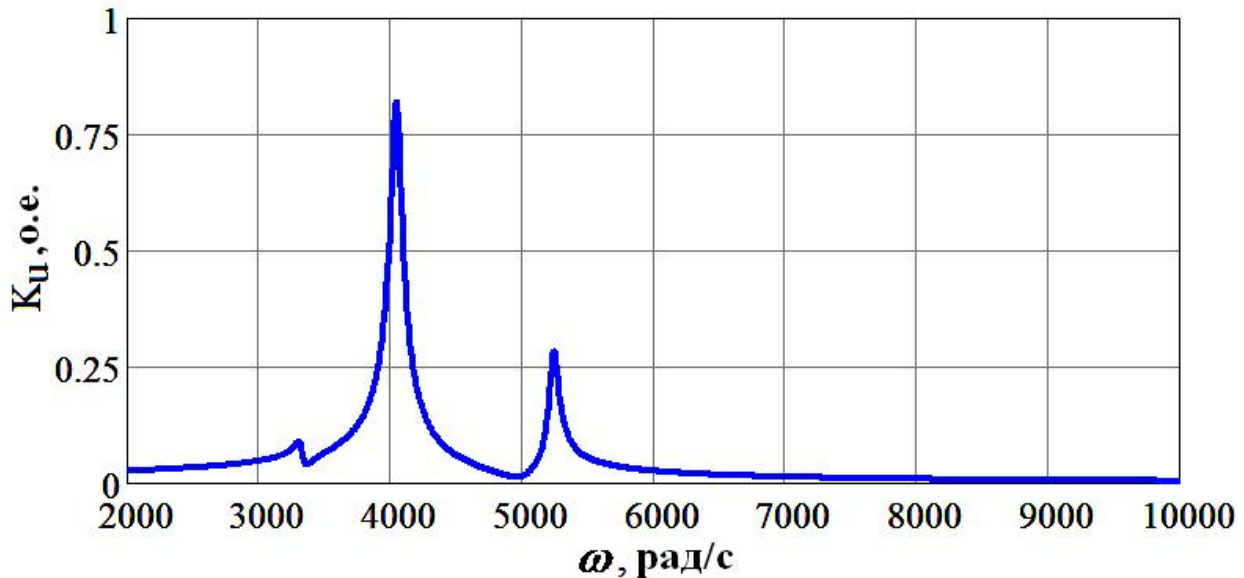


Рисунок 4 – Зависимость кратности перенапряжения от частоты (класс напряжения 110 кВ)

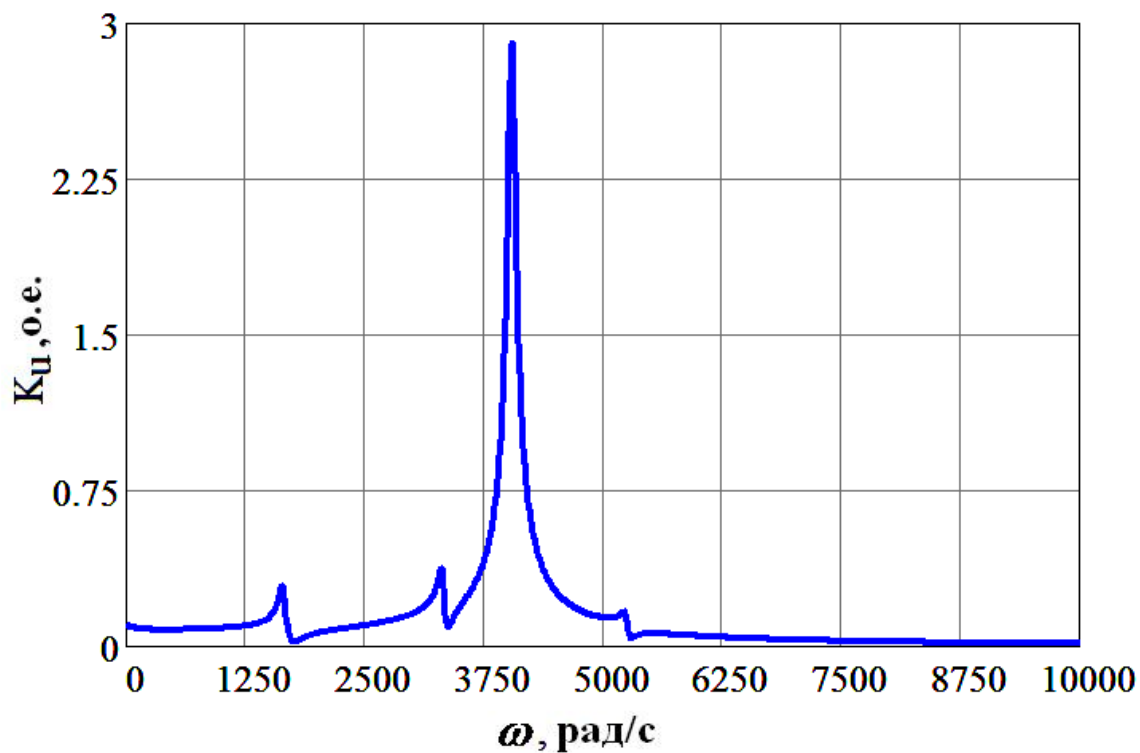


Рисунок 5 – Зависимость кратности перенапряжения от частоты (класс напряжения 35 кВ)

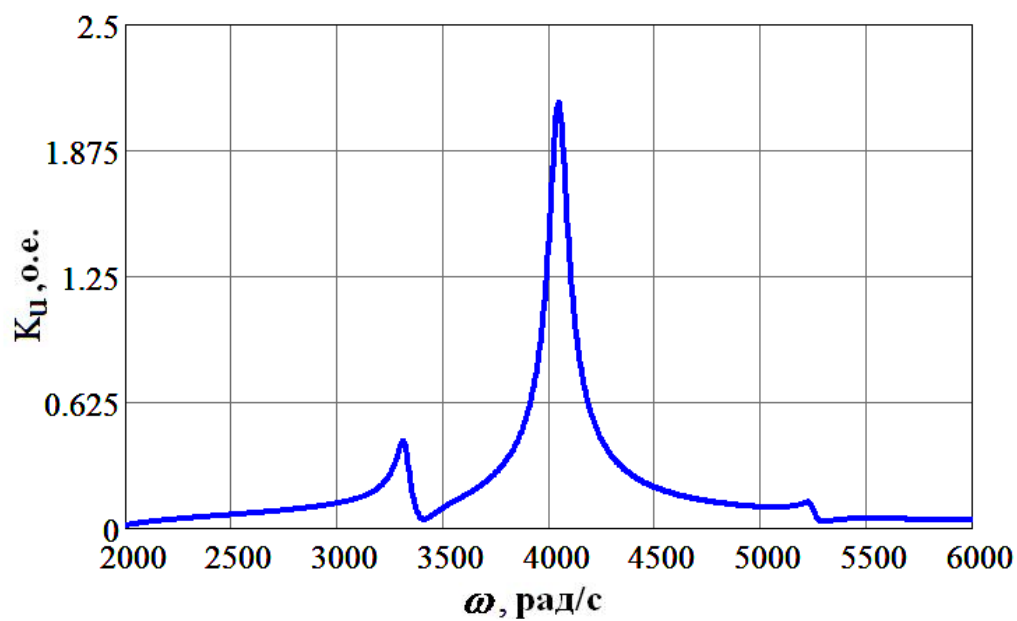


Рисунок 6 – Зависимость кратности перенапряжения от частоты (класс напряжения 6 кВ)

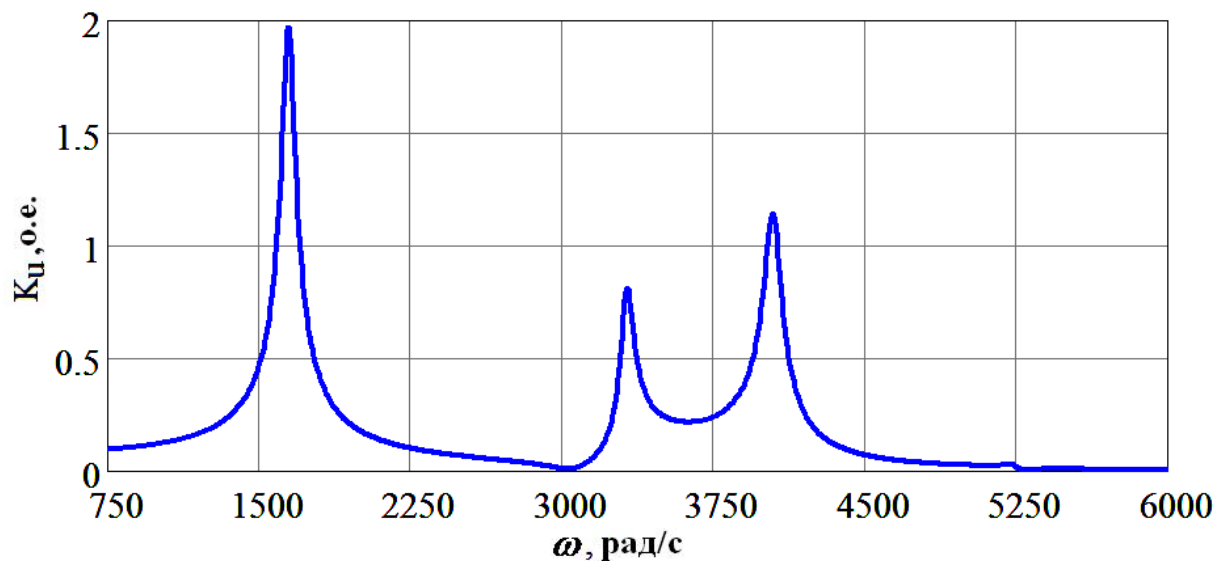


Рисунок 7 – Зависимость кратности перенапряжения от частоты (класс напряжения 0,4 кВ)

Таблица 2

Высшие гармоники, в окрестности которых возможен резонанс

U, кВ	K_u , о.е.	f, Гц	N
110	0,821	638	13
		537	11
		844	17
35	2,905	638	13
		258	5
		537	11
		844	17
6	2,1	638	13
		537	11
		844	17
0,4	1,97	258	5
		537	11
		638	13

Из таблицы 2 и графиков (рисунки 4–7) видно, что резонансный режим будет наблюдаться при частотах 258 Гц (5 гармоника), 537 Гц (11 гармоника), 638 Гц (13 гармоника) и 844 Гц (17 гармоника). Иными словами, при наличии нелинейной нагрузки, генерирующей 5, 11, 13 и 17 гармонику в сеть, будет наблюдаться режим резонанса.

Для оценки необходимости фильтрации высших гармоник в исследуемой системе электроснабжения (рис. 1) были проведены физические измерения показателей качества электроэнергии. Измерения производились в соответствии с действующей нормативной документацией. Были использованы приборы Fluke 435 и Metrel 2792A. Измерения производились на СШ 6 кВ, осциллограмма и спектральный состав напряжений приведены на рисунках 8 и 9 соответственно.

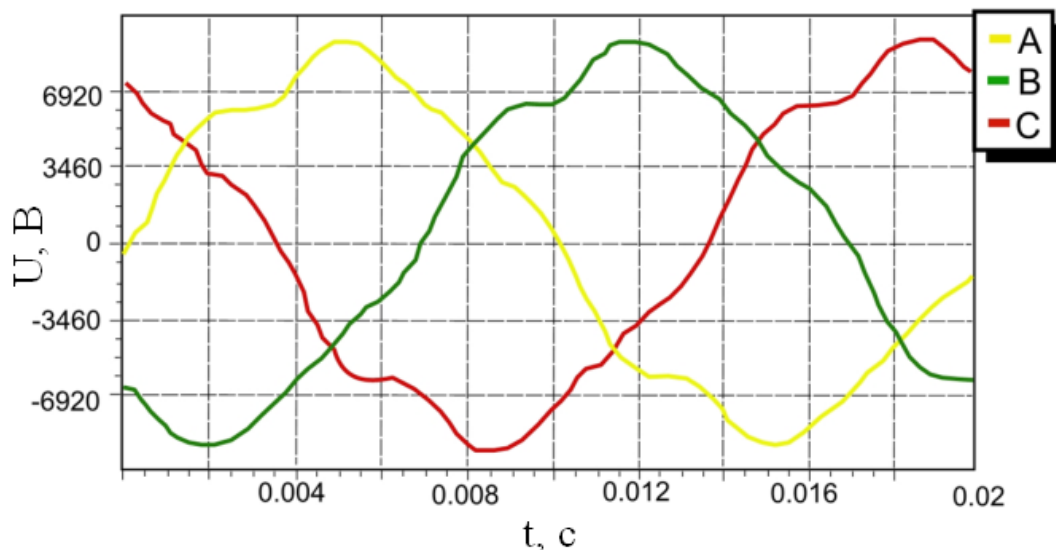


Рисунок 8 – Осциллограмма напряжений на СШ 6 кВ

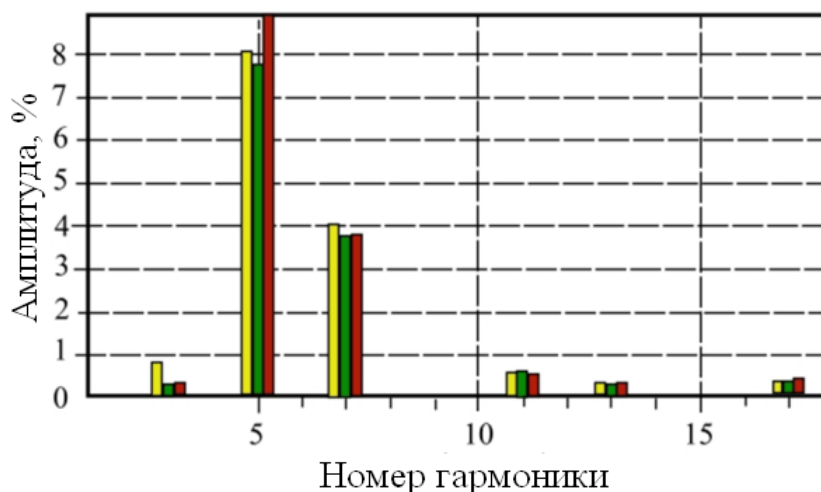


Рисунок 9 – Спектральный состав сигнала напряжения на СШ 6 кВ

Результаты измерений показывают, что в сети 6 кВ присутствуют гармоники, на которых возможен режим резонанса и опасные перенапряжения. Для защиты электрических сетей и уменьшения влияния высших гармоник в данном случае необходимо применение фильтров [3].

Заключение и выводы

1. В электрических сетях нефтедобывающих предприятий постоянно растет доля электрических нагрузок, имеющих нелинейную вольт-амперную характеристику, что, в конечном счете, является причиной появления высокочастотных составляющих (высших гармоник) тока и напряжения. Высшие гармоники приводят к перегрузке токоведущих частей, а для батарей статических конденсаторов – могут стать причиной преждевременного выхода из строя или даже физического разрушения.

2. В работе представлена методика расчета резонансных режимов в электрической сети 110/35/6 кВ. Основные источники гармонических искажений представлены на классе напряжения 0,4 кВ. Такими источниками являются станции управления погружными электродвигателями. Существенная доля нелинейной нагрузки 0,4 кВ вызывает искажения несинусоидальности на стороне 6 кВ. При этом возможны двукратные перенапряжения.

3. В работе представлены зависимости кратности перенапряжений от частоты, что позволило определить резонансные частоты, способные нанести ущерб электрооборудованию.

Результат физических измерений показателей качества электроэнергии с применением сертифицированного оборудования, показал наличие высших гармоник, способных привести к резонансу в электрической сети.

Результаты работы могут быть использованы для расчета режимов электрических сетей на стадии проектирования или при планировании установки технических устройств по фильтрации высших гармоник в распределительных сетях 0,4-6 кВ.

Литература

1. Коверникова, Л. И. Один из подходов к поиску резонансных режимов на высших гармониках / Л. И. Коверникова, С. С. Смирнов. – Текст : непосредственный // *Электричество*. – 2005. – № 10. – С. 62–69.
2. Николаев, А. А. Экспериментальные исследования электромагнитной совместимости современных электроприводов в системе электроснабжения металлургического предприятия / А. А. Николаев, Г. П. Корнилов, Т. Р. Храмшин, Г. Никифоров, Ф. Ф. Муталлапова. – Текст : непосредственный // *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. – 2016. – Т. 14, № 4. – С. 96–105.
3. Расчет резонансных режимов систем электроснабжения и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник / В. А. Ощепков [и др.]. – Текст : непосредственный // *Промышленная энергетика*. – 2018. – № 9. – С. 10–16.
4. Павлов, И. В. Изучение электромагнитной совместимости конденсаторных установок в системе электроснабжения ОАО «Ячинский НПЗ ВНК» при наличии высших гармоник / И. В. Павлов, О. А. Дружинин, Д. А. Скакунов, В. П. Твердохлебов, Ф. А. Бурюкин. – Текст : непосредственный // *Технологии нефти и газа*. – 2011. – № 1. – С. 41–43.
5. Atkinson-Hope, G. Decision theory process for making a mitigation decision on harmonic resonance / G. Atkinson-Hope, K. A. Folly // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – Vol. 19, Issue 3. – Pp.1393-1399, July 2004. – DOI: 10.1109/TPWRD.2004.829142.
6. Osipov, D. S. Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform / D. S. Osipov, D. V. Kovalenko, N. N. Dolgikh // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)* (14–16 Nov, 2017) // *IEEE Conference Publications*. Omsk, Russia. – DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.
7. Huang, Z. A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications / Z. Huang, W. Xu, V. R. Dinavahi // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – Vol. 18, Issue 4. – Pp.1382-1387, Oct 2003. – DOI: 10.1109/TPWRD.2003.817726.

Научное издание

ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 1 (68)/2023

Цена свободная

16+

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Подписано в печать: 30.03.2023

Дата выхода в свет: 06.04.2023

Формат 60х84 1/8. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 18,2. Тираж 1000 экз. Заказ № 274.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Отпечатано в секторе редакционно-издательской работы
Научной библиотеки ФГБОУ ВО ЮГУ:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Лапшин Валерий Федорович,
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 559)