



**Электронный периодический  
рецензируемый  
научный журнал**

**«SCI-ARTICLE.RU»**

<http://sci-article.ru>

**№91 (март) 2021**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Редколлегия.....	4
<b>ФОМЕНКО АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ. ЛЕЧЕНИЕ ИЗЖОГИ С ПОМОЩЬЮ ЖЕЛЧЕГОННОГО ПРЕПАРАТА.....</b>	<b>11</b>
<b>ГОЛУБЕВ ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ. СВЕРХЗВУКОВОЕ ОБТЕКАНИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФРАГМЕНТОВ КУБИЧЕСКОЙ ФОРМЫ.....</b>	<b>18</b>
<b>ЕФИМЧЕНКО ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ БАНКОВСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....</b>	<b>31</b>
<b>БЕСКРОВНАЯ ЕЛЕНА НАУМОВНА. К ПРОБЛЕМЕ МЕТАФОРИЗАЦИИ ТЕРМИНОВ ОТРАЖАЮЩИХ СПЕЦИФИКУ ПОНЯТИЯ «בראשית» В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА .....</b>	<b>36</b>
<b>ДУДИН АЛЕКСАНДР ТИМОФЕЕВИЧ. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>39</b>
<b>ГОЛУБЕВ ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ АТОМА И МАЛЫХ КЛАСТЕРОВ УГЛЕРОДА.....</b>	<b>43</b>
<b>ЛОБАНОВ ИГОРЬ ЕВГЕНЬЕВИЧ. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В ПРЯМЫХ КРУГЛЫХ ШЕРОХОВАТЫХ ТРУБАХ, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТРЁХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЁВ.....</b>	<b>59</b>
<b>КУРКОВ АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ. ЭМПИРИЧЕСКАЯ КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ: ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ КОНСТАНТ И ПРИМЕНЕНИЕ В ОПИСАНИИ ВСЕЛЕННОЙ.....</b>	<b>72</b>
<b>ГОЛУБЕВ ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ. РАСЧЕТ ДЕТОНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА ТКХ-50 И ПАРАФИНА .....</b>	<b>98</b>
<b>НЕМАТОВ ДИЛШОД ДАВЛАТШОЕВИЧ. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ N-ЛЕГИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА (TiO<sub>2</sub>-XnX) ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ.....</b>	<b>110</b>
<b>ПОЛИКАРПОВ ЮРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНЫХ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА С РАЗДЕЛЬНЫМ ПРИВОДОМ. ЧАСТЬ ПЕРВАЯ - УСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ.....</b>	<b>130</b>
<b>ЯНБАЕВА АЙЗАНАТ МУРЗАДИНОВНА. РАЗВИТИЕ ОРФОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОРКОСТИ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИСЛАЛИЕЙ.....</b>	<b>139</b>
<b>АДЕРИХИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ. ВКЛАД КАЗАХСТАНСКИХ ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ В ОСВОБОЖДЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР И СТРАН ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ОТ НЕМЕЦКО-ФАШИСТСКОЙ ОКУПАЦИИ .....</b>	<b>143</b>
<b>МОРОЗ ЕКАТЕРИНА СЕРГЕЕВНА. ФУНКЦИИ МАСТЕР-КЛАССА В МУЗЫКАЛЬНОМ ИСКУССТВЕ.....</b>	<b>155</b>
<b>ПИНЧУК ДАРЬЯ ВАДИМОВНА. БЕЗУСЛОВНЫЙ БАЗОВЫЙ ДОХОД КАК ИНСТРУМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>162</b>

**ВОДЯСОВА ЛЮБОВЬ ПЕТРОВНА. ПОТЕНЦИАЛ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В  
ОБУЧЕНИИ РУССКОМУ ЯЗЫКУ ..... 166**

## Редколлегия

**Агакишиева Тахмина Сулейман кызы.** Доктор философии, научный сотрудник Института Философии, Социологии и Права при Национальной Академии Наук Азербайджана, г.Баку.

**Агманова Атиркуль Егембердиевна.** Доктор филологических наук, профессор кафедры теоретической и прикладной лингвистики Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева (Республика Казахстан, г. Астана).

**Александрова Елена Геннадьевна.** Доктор филологических наук, преподаватель-методист Омского учебного центра ФПС.

**Ахмедова Разият Абдуллаевна.** Доктор филологических наук, профессор кафедры литературы народов Дагестана Дагестанского государственного университета.

**Беззубко Лариса Владимировна.** Доктор наук по государственному управлению, кандидат экономических наук, профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.

**Бежанидзе Ирина Зурабовна.** Доктор химических наук, профессор департамента химии Батумского Государственного университета им. Шота Руставели.

**Бублик Николай Александрович.** Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт садоводства Национальной академии аграрных наук Украины, г. Киев.

**Вишневский Петро Станиславович.** Доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной и инновационной деятельности Национального научного центра «Институт земледелия Национальной академии аграрных наук Украины», завотделом интеллектуальной собственности и инновационной деятельности.

**Галкин Александр Федорович.** Доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор Национального минерально-сырьевого университета "Горный", г. Санкт-Петербург.

**Гафурова Дилфуза Анваровна.** Доктор химических наук, доцент, заведующая кафедрой, Национальный Университет Узбекистана.

**Головина Татьяна Александровна.** Доктор экономических наук, доцент кафедры "Экономика и менеджмент", ФГБОУ ВПО "Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс" г. Орел. Россия.

**Громов Владимир Геннадьевич.** Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного, экологического права и криминологии ФГБОУ ВО "Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского".

**Грошева Надежда Борисовна.** Доктор экономических наук, доцент, декан САФ БМБШ ИГУ.

**Дегтярь Андрей Олегович.** Доктор наук по государственному управлению, кандидат экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента и администрирования Харьковской государственной академии культуры.

**Евстропов Владимир Михайлович.** Доктор медицинских наук, профессор кафедры безопасности технологических процессов и производств, Донской государственной технической университет.

**Жолдубаева Ажар Куанышбековна.** Доктор философских наук, профессор кафедры религиоведения и культурологии факультета философии и политологии Казахского Национального Университета имени аль-Фараби (Казахстан, Алматы).

**Жураев Даврон Аслонкулович.** Доктор философии по физико-математическим наукам, доцент, Высшее военное авиационное училище республики Узбекистан.

**Зейналов Гусейн Гардаш оглы.** Доктор философских наук, профессор кафедры философии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева».

**Зинченко Виктор Викторович.** Доктор философских наук, профессор, главный научный сотрудник Института высшего образования Национальной академии педагогических наук

Украины; профессор Института общества Киевского университета имени Б. Гринченко; профессор, заведующий кафедрой менеджмента Украинского гуманитарного института; руководитель Международной лаборатории образовательных технологий Центра гуманитарного образования Национальной академии наук Украины. Действительный член The Philosophical Pedagogy Association. Действительный член Towarzystwa Pedagogiki Filozoficznej im. Bronisława F. Trentowskiego.

**Калягин Алексей Николаевич.** Доктор медицинских наук, профессор. Заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней ГБОУ ВПО "Иркутский государственный медицинский университет" Минздрава России, действительный член Академии энциклопедических наук, член-корреспондент Российской академии естествознания, Академии информатизации образования, Балтийской педагогической академии.

**Ковалева Светлана Викторовна.** Доктор философских наук, профессор кафедры истории и философии Костромского государственного технологического университета.

**Коваленко Елена Михайловна.** Доктор философских наук, профессор кафедры перевода и ИТЛ, Южный федеральный университет.

**Колесникова Галина Ивановна.** Доктор философских наук, доцент, член-корреспондент Российской академии естествознания, заслуженный деятель науки и образования, профессор кафедры Гуманитарных дисциплин Таганрожского института управления и экономики.

**Колесников Анатолий Сергеевич.** Доктор философских наук, профессор Института философии СПбГУ.

**Король Дмитрий Михайлович.** Доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики ортопедической стоматологии ВДНЗУ "Украинская медицинская стоматологическая академия".

**Кузьменко Игорь Николаевич.** Доктор философии в области математики и психологии. Генеральный директор ООО "РОСПРОРЫВ".

**Кучуков Магомед Мусаевич.** Доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой истории, философии и права Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им.В.М. Кокова.

**Лаурентьев Владимир Владимирович.** Доктор технических наук, доцент, академик РАЕ, МААНОИ, АПСН. Директор, заведующий кафедрой Горячеключевского филиала НОУ ВПО Московской академии предпринимательства при Правительстве Москвы.

**Лакота Елена Александровна.** Доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ "НИИСХ Юго-Востока", г. Саратов.

**Ланин Борис Александрович.** Доктор филологических наук, профессор, заведующий лабораторией ИСМО РАО.

**Лахтин Юрий Владимирович.** Доктор медицинских наук, доцент кафедры стоматологии и терапевтической стоматологии Харьковской медицинской академии последипломного образования.

**Лобанов Игорь Евгеньевич.** Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Московский авиационный институт.

**Лучинкина Анжелика Ильинична.** Доктор психологических наук, зав. кафедрой психологии Республиканского высшего учебного заведения "Крымский инженерно-педагогический университет".

**Луценко Евгений Вениаминович.** Доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерных технологий и систем ФГБОУ ВО "Кубанский ГАУ им.И.Т.Трубилина", г. Краснодар.

**Манцава Майя Михайловна.** Доктор медицинских наук, профессор, президент Международного Общества Реологов.

**Маслихин Александр Витальевич.** Доктор философских наук, профессор. Правительство Республики Марий Эл.

**Мирзаев Номаз Мирзаевич.** Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий (НИЦ ИКТ) при Ташкентском университете информационных технологий им. Мухаммада Аль-Хоразмий.

**Можаев Евгений Евгеньевич.** Доктор экономических наук, профессор, директор по научным и образовательным программам Национального агентства по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии.

**Моторина Валентина Григорьевна.** Доктор педагогических наук, профессор, зав. кафедрой математики Харьковского национального педагогического университета им. Г.С. Сковороды.

**Набиев Алпаша Алибек.** Доктор наук по геоинформатике, старший преподаватель, географический факультет, кафедра физической географии, Бакинский государственный университет.

**Надькин Тимофей Дмитриевич.** Профессор кафедры отечественной истории и этнологии ФГБОУ ВПО "Мордовский государственный педагогический институт имени М. Е. Евсевьева", доктор исторических наук, доцент (Республика Мордовия, г. Саранск).

**Наумов Владимир Аркадьевич.** Заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования Калининградского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор, кандидат физико-математических наук, член Российской инженерной академии, Российской академии естественных наук.

**Орехов Владимир Иванович.** Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики инноваций ООО "Центр помощи профессиональным организациям".

**Ощепкова Юлия Игоревна.** Доктор химических наук, заведующий лаборатории ХБиП Института биоорганической химии АН РУз.

**Пащенко Владимир Филимонович.** Доктор технических наук, профессор, кафедра "Оптимізація технологічних систем імені Т.П. Євсюкова", ХНТУСГ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МЕХАНОТРОНІКИ І СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ.

**Пелецкис Кястутис Чесловович.** Доктор социальных наук, профессор экономики Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса.

**Петров Владислав Олегович.** Доктор искусствоведения, доцент ВАК, доцент кафедры теории и истории музыки Астраханской государственной консерватории, член-корреспондент РАЕ.

**Походенько-Чудакова Ирина Олеговна.** Доктор медицинских наук, профессор. Заведующий кафедрой хирургической стоматологии УО «Белорусский государственный медицинский университет».

**Предеус Наталия Владимировна.** Доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры Саратовского социально-экономического института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова.

**Розыходжаева Гульнора Ахмедовна.** Доктор медицинских наук, руководитель клинко-диагностического отдела Центральной клинической больницы №1 Медико-санитарного объединения; доцент кафедры ультразвуковой диагностики Ташкентского института повышения квалификации врачей; член Европейской ассоциации кардиоваскулярной профилактики и реабилитации (ЕАСРР), Европейского общества радиологии (ESR), член Европейского общества атеросклероза (EAS), член рабочих групп атеросклероза и сосудистой биологии („Atherosclerosis and Vascular Biology“), периферического кровообращения („Peripheral Circulation“), электронной кардиологии (e-cardiology) и сердечной недостаточности Европейского общества кардиологии (ESC), Ассоциации «Российский доплеровский клуб», Deutsche HerzStiftung.

**Сорокопудов Владимир Николаевич.** Доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ФГАОУ ВПО "Белгородский государственный национальный исследовательский университет".

**Супрун Элина Владиславовна.** Доктор медицинских наук, профессор кафедры общей фармакологии и безопасности лекарств Национального фармацевтического университета, г.Харьков, Украина.

**Терецкий Владислав Иванович.** Доктор юридических наук, профессор кафедры гражданского права и процесса Харьковского национального университета внутренних дел.

**Трошин Александр Сергеевич.** Доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента и внешнеэкономической деятельности, ФГБОУ ВО "Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова".

**Феофанов Александр Николаевич.** Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН".

**Хамраева Сайёра Насимовна.** Доктор экономических наук, доцент кафедры экономика, Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан.

**Чернова Ольга Анатольевна.** Доктор экономических наук, зав.кафедрой финансов и бухучета Южного федерального университета (филиал в г.Новошахтинске).

**Шедько Юрий Николаевич.** Доктор экономических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

**Шелухин Николай Леонидович .** Доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой права и публичного администрирования Мариупольского государственного университета, г. Мариуполь, Украина.

**Шихнебиев Даир Абдулкеримович.** Доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной терапии №3 ГБОУ ВПО "Дагестанская государственная медицинская академия".

**Эшкурбонов Фуркат Бозорович.** Доктор химических наук, заведующий кафедрой Промышленных технологий Термезского государственного университета (Узбекистан).

**Яковенко Наталия Владимировна.** Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры социально-экономической географии и регионоведения ФГБОУ ВПО "ВГУ".

**Абдуллаев Ахмед Маллаевич.** Кандидат физико-математических наук, профессор Ташкентского университета информационных технологий.

**Акпамбетова Камшат Макпалбаевна.** Кандидат географических наук, доцент Карагандинского государственного университета (Республика Казахстан).

**Ашмаров Игорь Анатольевич.** Кандидат экономических наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин, Воронежский государственный институт искусств, профессор РАЕ.

**Бай Татьяна Владимировна.** Кандидат педагогических наук, доцент ФГБОУ ВПО "Южно-Уральский государственный университет" (национальный исследовательский университет).

**Бектурова Жанат Базарбаевна.** Кандидат филологических наук, доцент Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева (Республика Казахстан, г.Астана).

**Беляева Наталия Владимировна.** Кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка, литературы и методики преподавания Школы педагогики Дальневосточного федерального университета.

**Бозоров Бахритдин Махаммадиевич.** Кандидат биологических наук, доцент, зав.кафедрой "Физиология, генетика и биохимии" Самаркандского государственного университета Узбекистан.

**Бойко Наталья Николаевна.** Кандидат юридических наук, доцент. Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВПО "БашГУ".

**Боровой Евгений Михайлович.** Кандидат философских наук, доцент, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (г. Новосибирск).

**Васильев Денис Владимирович.** Кандидат биологических наук, профессор, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (г. Обнинск).

**Вицентий Александр Владимирович.** Кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры информационных систем и технологий, Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН, Кольский филиал ПетрГУ.

**Гайдученко Юрий Сергеевич.** Кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии ФГБОУ ВПО "Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина".

**Гресь Сергей Михайлович.** Кандидат исторических наук, доцент, Учреждение образования "Гродненский государственный медицинский университет", Республика Беларусь.

**Джумагалиева Куляш Валитхановна.** Кандидат исторических наук, доцент Казахской инженерно-технической академии, г.Астана, профессор Российской академии естествознания.

**Егорова Олеся Ивановна.** Кандидат филологических наук, старший преподаватель кафедры теории и практики перевода Сумского государственного университета (г. Сумы, Украина).

**Ермакова Елена Владимировна.** Кандидат педагогических наук, доцент, Ишимский государственный педагогический институт.

**Жерновникова Оксана Анатольевна.** Кандидат педагогических наук, доцент, Харьковский национальный педагогический университет имени Г.С. Сковороды.

**Жохова Елена Владимировна.** Кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии Государственного Бюджетного Образовательного Учреждения Высшего Профессионального Образования "Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия".

**Закирова Оксана Вячеславовна.** Кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка и контрастивного языкознания Елабужского института Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Ивашина Татьяна Михайловна.** Кандидат филологических наук, доцент кафедры германской филологии Киевского Международного университета (Киев, Украина).

**Искендерова Сабира Джафар кызы.** Кандидат философских наук, старший научный сотрудник Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку. Институт Философии, Социологии и Права.

**Карякин Дмитрий Владимирович.** Кандидат технических наук, специальность 05.12.13 - системы, сети и устройства телекоммуникаций. Старший системный инженер компании Juniper Networks.

**Катков Юрий Николаевич.** Кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и налогообложения Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского.

**Кебалова Любовь Александровна.** Кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и устойчивого развития Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова (Владикавказ).

**Климук Владимир Владимирович.** Кандидат экономических наук, ассоциированный профессор Региональной Академии менеджмента. Начальник учебно-методического отдела, доцент кафедры экономики и организации производства, Учреждение образования "Барановичский государственный университет".

**Кобланов Жоламан Таубаевич.** Ассоциированный профессор, кандидат филологических наук. Профессор кафедры казахского языка и литературы Каспийского государственного университета технологии и инжиниринга имени Шахмардана Есенова.

**Ковбан Андрей Владимирович.** Кандидат юридических наук, доцент кафедры административного и уголовного права, Одесская национальная морская академия, Украина.



**Кольцова Ирина Владимировна.** Кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры психологии, ГБОУ ВО "Ставропольский государственный педагогический институт" (г. Ставрополь).

**Короткова Надежда Владимировна.** Кандидат педагогических наук, доцент кафедры русского языка ФГБОУ ВПО "Липецкий государственный педагогический институт".

**Кузнецова Ирина Павловна.** Кандидат социологических наук. Докторант Санкт-Петербургского Университета, социологического факультета, член Российского общества социологов - РОС, член Европейской Социологической Ассоциации -ESA.

**Кузьмина Татьяна Ивановна.** Кандидат психологических наук, доцент кафедры общей психологии ГБОУ ВПО "Московский городской психолого-педагогический университет", доцент кафедры специальной психологии и коррекционной педагогики НОУ ВПО "Московский психолого-социальный университет", член Международного общества по изучению развития поведения (ISSBD).

**Левкин Григорий Григорьевич.** Кандидат ветеринарных наук, доцент ФГБОУ ВПО "Омский государственный университет путей сообщения".

**Лушников Александр Александрович.** Кандидат исторических наук, член Международной Ассоциации славянских, восточноевропейских и евразийских исследований. Место работы: Центр технологического обучения г.Пензы, методист.

**Мелкадзе Нанули Самсоновна.** Кандидат филологических наук, доцент, преподаватель департамента славистики Кутаисского государственного университета.

**Назарова Ольга Петровна.** Кандидат технических наук, доцент кафедры Высшей математики и физики Таврического государственного агротехнологического университета (г. Мелитополь, Украина).

**Назмутдинов Ризабек Агзамович.** Кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии, Костанайский государственный педагогический институт.

**Насимов Мурат Орленбаевич.** Кандидат политических наук. Проректор по воспитательной работе и международным связям университета "Болашак".

**Непомнящая Наталья Васильевна.** Кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и статистики, Сибирский федеральный университет.

**Олейник Татьяна Алексеевна.** Кандидат педагогических наук, доцент, профессор кафедры ИТ Харьковского национального педагогического университета имени Г.С.Сковороды.

**Орехова Татьяна Романовна.** Кандидат экономических наук, заведующий кафедрой управления инновациями в реальном секторе экономики ООО "Центр помощи профессиональным организациям".

**Остапенко Ольга Валериевна.** Кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры гистологии и эмбриологии Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца (Киев, Украина).

**Поляков Евгений Михайлович.** Кандидат политических наук, преподаватель кафедры социологии и политологии ВГУ (Воронеж); Научный сотрудник (стажер-исследователь) Института перспективных гуманитарных исследований и технологий при МГГУ (Москва).

**Попова Юлия Михайловна.** Кандидат экономических наук, доцент кафедры международной экономики и маркетинга Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка.

**Рамазанов Сайгим Манапович.** Кандидат экономических наук, профессор, главный эксперт ОАО «РусГидро», ведущий научный сотрудник, член-корреспондент Российской академии естественных наук.

**Рибцун Юлия Валентиновна.** Кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник лаборатории логопедии Института специальной педагогики Национальной академии педагогических наук Украины.

**Сазонов Сергей Юрьевич.** Кандидат технических наук, доцент кафедры Информационных систем и технологий ФГБОУ ВПО "Юго-Западный государственный университет".

**Саметова Фаузия Толеушайховна.** Кандидат филологических наук, профессор, проректор по воспитательной работе Академии Кайнар (Республика Казахстан, город Алматы).

**Сафронов Николай Степанович.** Кандидат экономических наук, действительный член РАЕН, заместитель Председателя отделения "Ресурсосбережение и возобновляемая энергетика". Генеральный директор Национального агентства по энергосбережению и возобновляемым источникам энергии, заместитель Председателя Подкомитета по энергоэффективности и возобновляемой энергетике Комитета по энергетической политике и энергоэффективности Российского союза промышленников и предпринимателей, сопредседатель Международной конфедерации неправительственных организаций с области ресурсосбережения, возобновляемой энергетике и устойчивого развития, ведущий научный сотрудник.

**Середа Евгения Витальевна.** Кандидат филологических наук, старший преподаватель Военной Академии МО РФ.

**Слизкова Елена Владимировна.** Кандидат педагогических наук, доцент кафедры социальной педагогики и педагогики детства ФГБОУ ВПО "Ишимский государственный педагогический институт им. П.П. Ершова".

**Смирнова Юлия Георгиевна.** Кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор (доцент) Алматинского университета энергетики и связи.

**Франчук Татьяна Иосифовна.** Кандидат педагогических наук, доцент, Каменец-Подольский национальный университет имени Ивана Огиенка.

**Церцвадзе Мзия Гилаевна.** Кандидат филологических наук, профессор, Государственный университет им. А. Церетели (Грузия, Кутаиси).

**Чернышова Эльвира Петровна.** Кандидат философских наук, доцент, член СПбПО, член СД России. Заместитель директора по научной работе Института строительства, архитектуры и искусства ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова".

**Шамутдинов Айдар Харисович.** Кандидат технических наук, доцент кафедры Омского автобронетанкового инженерного института.

**Шангина Елена Игоревна.** Кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Зав. кафедрой Уральского государственного горного университета.

**Шапауов Алиби Кабыкенович.** Кандидат филологических наук, профессор. Казахстан. г.Кокшетау. Кокшетауский государственный университет имени Ш. Уалиханова.

**Шаргородская Наталья Леонидовна.** Кандидат наук по госуправлению, помощник заместителя председателя Одесского областного совета.

**Шафиров Валерий Геннадьевич.** Кандидат юридических наук, профессор кафедры Аграрных отношений и кадрового обеспечения АПК, Врио ректора ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса».

**Шошин Сергей Владимирович.** Кандидат юридических наук, доцент кафедры уголовного, экологического права и криминологии юридического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

**Яковлев Владимир Вячеславович.** Кандидат педагогических наук, профессор Российской Академии Естествознания, почетный доктор наук (DOCTOR OF SCIENCE, HONORIS CAUSA).

# МЕДИЦИНА

## ЛЕЧЕНИЕ ИЗЖОГИ С ПОМОЩЬЮ ЖЕЛЧЕГОННОГО ПРЕПАРАТА

*Фоменко Андрей Владимирович*

**Ключевые слова:** рефлюкс; кислотность; печеночная желчь; цикорий

**Keywords:** reflux; acidity; liver bile; chicory

**Аннотация:** В статье рассмотрены причины возникновения ГЭРБ и испытан способ лечения изжоги с помощью желчегонного напитка - цикория. А также рассмотрены применяемые в настоящее время препараты для лечения ГЭРБ.

**Abstract:** The article discusses the causes of GERD and tested a method for treating reflux with a choleric drink-chicory. We also reviewed the currently used drugs for the treatment of GERD.

**УДК 612.3**

### **Введение.**

Изжога - ощущение жжения за грудиной возникающее при раздражении рецепторов пищевода при рефлюксэзофагите. [11]

Рефлюкс - пассивное передвижение жидкого содержимого полых органов в обратном направлении. [12]

Основа ГЭРБ - это гастроэзофагеальный рефлюкс (ГЭР), который может быть физиологическим и патологическим. Физиологический регистрируют у здоровых людей, в основном - в дневное время, после приема пищи и значительно реже в ночное время. При физиологическом рефлюксе изменения пищевода не формируются.

При патологическом ГЭР - контакт желудочного содержимого со слизистой пищевода более продолжительный, за счет этого формируются морфологические изменения: эрозии, язвы, пищевод Баррета. [3]

### **Актуальность.**

ГЭРБ находится на первом месте среди гастроэнтерологических заболеваний. Основной симптом— изжога. [9]

Больные ГЭРБ испытывают боли в эпигастральной области, изжогу, отрыжку, срыгивание, одинофагию, боль за грудиной и бронхолегочные осложнения, а также вне пищеводные проявления в виде: ночного кашля; рецидивирующей пневмонии; хронического бронхита с астматическим компонентом; ретростернальными болями и болями в прекардиальной области, по типу стенокардии, иногда с нарушением ритма сердца; хронического ларингита; фарингита; кариеса зубов. [2]

Неэрозивная рефлюксная болезнь (НЭРБ) определяется типичными гастроэзофагеальными рефлюксными симптомами, отсутствием эндоскопических признаков воспаления пищевода и повышенным воздействием пищеводной кислоты. НЭРБ является наиболее распространенной фенотипической формой гастроэзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ), на долю которой приходится до 70% всех пациентов с симптомами изжоги. [20]

При лечении ГЭРБ ставятся следующие цели: устранение симптомов, заживление эрозий и предупреждение осложнений. Основные лекарственные препараты, применяемые для лечения ГЭРБ: ингибиторы протонной помпы, альгинаты, антациды, адсорбенты, прокинетики. [4]

Ингибиторы протонной помпы (ИПП) снижают уровень витаминов и минеральных веществ: витамина В12, кальция, железа, магния. Также ИПП повышают риск возникновения колоректального рака, рака желудка и поджелудочной железы, влияют на микросомальные ферменты печени, повышают риск инфекций, снижают прочность костей. [16]

При применении ИПП увеличивается вероятность возникновения переломов и развивается остеопороз. [15 стр. 424]

Альгинаты могут вызвать повышение кальция в крови и нарушить работу почек. [8]

Антациды повышают внутрижелудочное рН до 4,0-5,0 что в дальнейшем может привести к снижению защитных свойств желудка и возникновению инфекций.

Возникает синдром отдачи с вторичным повышением секреции соляной кислоты. Адсорбция пепсина нарушает усваиваемость белков. Применение алюминий-содержащих антацидов может вызвать интоксикацию. Магний-содержащие антациды оказывают послабляющее действие. [7]

Адсорбенты нарушают усвояемость полезных веществ и могут приводить к запору.

Прокинетики вызывают сонливость, повышенную утомляемость, головокружение, редко - депрессию ; бывают незначительные головные боли; спастические боли и сокращения кишечника [10]

Подытожив побочные эффекты, можно сказать, что медикаментозное лечение ГЭРБ (кроме прокинетиков), ухудшает усваиваемость пищи, снижает в организме уровень минеральных веществ и витаминов, снижает защитные свойства желудка, не устраняет заболевание, а только купирует его симптомы.

**Цели:** разработка способа лечения ГЭРБ, который устранил основную проблему возникновения заболевания и не будет ухудшать процесс пищеварения.

### **Задачи.**

1. Определить основную причину ГЭРБ.
2. Проверить действие желчегонных препаратов на купирование рефлюкса.

## Материалы и методы.

1. Испытание на купирование рефлюкса желчегонным препаратом.
2. Анализ физиологии пищеварения на предмет возникновения ГЭРБ.

В качестве испытуемого использовался автор статьи. У испытуемого имелся физиологический рефлюкс, который проявлялся в виде изжоги после приема пищи. В основном - после переедания, или употребления продуктов, повышающих кислотность (хлеб, жареная печень, томатный сок, вермишель быстрого приготовления и др.). До эксперимента автор купировал рефлюкс с помощью минеральной воды Эссентуки 17, соды, антацидов.

В качестве желчегонного средства использовался цикорий. Цикорий обладает выраженным желчегонным и гепатопротекторным действием.[6 ст. 186]

У автора статьи имелся физиологический рефлюкс. С 22 до 30 лет рефлюкс возникал после приема большого количества пищи 1-2 раза в неделю. В 39-40 лет рефлюкс возникал каждый раз после еды и купировался минеральной водой Эссентуки-17, содой или антацидами. В 60% после приема Эссентуков- 17 возникала диарея.

Было принято решение проверить действие желчегонного препарата на купирование рефлюкса.

В течении месяца, в случае возникновения изжоги, автор принимал 250 мл напитка цикория (чайная ложка сухого напитка). Через 7-15 минут изжога заканчивалась. В случае, когда изжога не проходила (слишком много еды и продуктов повышающих кислотность), выпивалась ещё одна порция цикория. По истечению месяца рефлюкс перестал возникать после приема пищи. При приеме еды, стимулирующей выработку кислоты, рефлюкс не возникал. При разовом употреблении порции лапши быстрого приготовления и 250 гр. черного хлеба - рефлюкс не возникал.

Эксперимент проводился в апреле 2020 года. На момент написания статьи (прошло 3,5 месяца) не было ни одного приступа изжоги.

Анализ физиологии пищеварения на предмет возникновения ГЭРБ.

Нормальный уровень кислотности желудка рН 1.5-2.0. Такая кислотность способствует усваиванию белков и железа, защищает организм от патогенов, способствует моторно-эвакуаторной функции желудка. Раздражение антрального отдела желудка кислым содержимым, заставляет открывать пилорический сфинктер, а попадая в 12-ти перстную кишку, кислое содержимое желудка закрывает его. Ощелачивание химуса ускоряет эвакуацию содержимого желудка. [1 стр. 22, 31]

Когда пища принимается спешно, то попавшие твердые (не пережеванные) части еды остаются в желудке для дальнейшего переваривания и, тем самым, увеличивают выработку кислоты и задерживают продвижение содержимого в

кишечник. Также прием большого количества еды способствует переполнению желудка, увеличению внутрибрюшного давления и приводит к рефлюксу.

Желчь бывает 2-х типов: печеночная Рн 7.3-8.0 и пузырчатая Рн 6.5 -6.8. [1 стр. 40] При нарушении желчевыделения (нарушение работы желчного пузыря, ухудшение оттока желчи, нарушение работы печени), в 12-ти перстной кишке формируется не достаточно щелочная среда, либо из за малого количества желчи, либо из за не достаточно высокого Рн желчи, например при длительных перерывах между приемами пищи свежая желчь не поступает в желчный пузырь, желчь застаивается и теряет свои щелочные свойства, в результате после приема пищи в 12-ти перстную кишку поступает малое количество желчи повышенной кислотности до Рн 6.0-6.5. Таким образом 12 ти перстная кишка Рн которой относительно кислый дает сигнал пилорическому сфинктеру сомкнуться и не пускать содержимое антрального отдела в тонкий кишечник, из-за этого эвакуация химуса из желудка затрудняется, желудок переполняется и его содержимое начинает забрасываться в пищевод. При использовании антацидов и ИПП (кислотность желудочного сока Рн 4.0-5.0), разница между кислотностью в 12-ти перстной кишке (Рн 6.0-6.5) и антральным отделом желудка - становится минимальной - это может приводить к отсутствию эвакуации химуса, при открывании пилорического сфинктера и просачиванию желчных кислот в желудок. Повышенная кислотность в 12-ти перстной кишке дает команду пилорическому сфинктеру смыкаться, а пониженная кислотность антрального отдела сигнализирует о том что переваривание в желудке завершилось и дает сигнал пилорическому сфинктеру размыкаться для дальнейшего поступления химуса в тонкий кишечник, таким образом 2 сигнала от разных отделов ЖКТ разной направленности (один требует закрытия, другой требует открытия) могут способствовать при открывании пилорического сфинктера и просачиванию в желудок содержимого тонкого кишечника. В случае сильного ощелачивания содержимого желудка антральным отделом дается команда в полному опорожнению содержимого желудка, в результате возникает диарея.

Когда автор употреблял цикорий - стимулировалась выработка печеночной желчи (Рн 7.3-8.0), которая ощелачивала 12-ти перстную кишку, а отсутствие антацидов и ИПП поддерживало нормальную кислотность желудочного сока в антральном отделе желудка.

В результате щелочная среда 12ти перстной кишки сигнализировала пилорическому сфинктеру о готовности тонкого кишечника к приему химуса из желудка, а достаточно кислая среда желудка обеспечивала плотное смыкание пилорического сфинктера после пропуса очередной порции химуса.

Патология ГЭРБ связанная с проникновением желчных кислот в желудок называется желчный рефлюкс. Для лечения желчного рефлюкса используют средства, ускоряющие опорожнение желудка и пищевода, повышающие тонус нижнего пищеводного сфинктера к ним относят селективные прокинетики (мотилиум, цизаприд), а так же ингибиторы протонной помпы. [13 стр. 29] Автор применял цикорий который улучшал эвакуацию химуса из желудка что давало такой же эффект как и прокинетик, а ИПП не применялись так как именно они усугубляют нормальную эвакуацию содержимого желудка.

Таким образом используя препарат стимулирующий выработку печеночной желчи, улучшалась эвакуация содержимого желудка которая осуществлялась порциями,

снижалось внутрибрюшное давление, рефлюкс не возникал. При использовании желчегонных препаратов, стимулирующих выработку печеночной желчи, купируется рефлюкс, нормализуется пищеварение, улучшаются обменные процессы в организме.

После отмены желчегонного препарата у автора сохранилось устойчивое состояние организма к рефлюксу, что свидетельствует о нормализации пищеварения стимулирующим выработку печеночной желчи в течение месяца.

Любой человек может получить изжогу, но она чаще встречается у пожилых людей. Случайная изжога-это нормально, но изжога, которая возникает более двух раз в неделю, обычно считается ГЭРБ. [17] С возрастом больных, частота выявления ГЭРБ увеличивается. [5] Нарушение моторно-эвакуаторной функции желудка, наблюдаются почти у всех больных ГЭРБ с преобладанием замедления опорожнения желудка. Основными причинами нарушения моторно-эвакуаторной функции желудка являются нарушение функциональной активности желчного пузыря и дисфункции сфинктера Одди. [14 стр. 35]

Хроническая инфекция гепатита В ассоциировалась с ощущением изжоги (отношение шансов (OR) 1,27, 95% доверительный интервал 1,01–1,61,  $P = 0,037$ ) и эрозивным эзофагитом (скорректированное OR 1,75, 1,03–2,97,  $P = 0,037$ ). [18] Распространенность симптомов ГЭРБ у больных с неалкогольной жировой болезнью печени была выше, чем в контроле (61,2 против 27,9 %) Была обнаружена положительная связь между неалкогольной жировой болезнью печени и изжогой, срыгиванием и отрыжкой. Симптомы ГЭРБ были связаны с индексом массы тела и метаболическим синдромом. [19]

Возникновение ГЭРБ на фоне заболеваний печени указывает на важную роль которую играет желчевыделение для данной патологии.

Это означает, что ГЭРБ формируется при неправильном употреблении пищи и основной причиной его является нарушение эвакуации содержимого желудка, которое возникает из-за нарушения кислотной разницы между 12-ти перстной кишкой и антральным отделом желудка.

### **Научная новизна.**

1. Применение желчегонных препаратов, стимулирующих выработку печеночной желчи, приводит к норме кислотную разницу между 12-ти перстной кишкой и антральным отделом желудка, что приводит к нормализации эвакуации содержимого желудка и, как следствие, отменяет возникновение рефлюкса.
2. Несвоевременная эвакуация содержимого желудка является первопричиной возникновения рефлюкса и ГЭРБ.
3. Применение антацидов и ИПП может способствовать снижению кислотной разницы между 12-ти перстной кишкой и антральным отделом желудка, что приводит к нарушению эвакуации содержимого желудка, прогрессированию ГЭРБ и ухудшению пищеварения.

## Результаты.

Пища попав в желудок начинает стимулировать выработку желудочного сока рН 1.5-2.0, наличие не пережеванных кусков пищи или большого количества еды симулирует выработку большего количества желудочного сока. Не достаточно ошелаченная 12-ти перстная кишка нарушает работу пилорического сфинктера, и он в место того чтобы пропускать химус порциями, становится в приоткрытом состоянии что способствует ошелачиванию антрального отдела и кислота просачивается в 12-ти перстную кишку, а желчные кислоты проникают в желудок. В результате основная еда остается в желудке и это вызывает ГЭРБ.

При употреблении цикория после еды, он стимулирует выработку печеночной желчи рН 7.2-8.0, которая поступает прямо в 12-ти перстную кишку и тем самым ошелачивает ее. В результате нормализуется работа пилорического сфинктера и еда начинает поступать порциями в 12-ти перстную кишку, желудок не переполняется, ГЭРБ не возникает.

## Выводы.

Применение желчегонных препаратов, стимулирующих выработку печеночной желчи, восстанавливает эвакуационную способность желудка, отменяет рефлюкс и нормализует пищеварение на длительный период времени. Применение желчегонных препаратов в лечении ГЭРБ требует дополнительных исследований и может помочь в лечении гастритов и язв путем создания нормальной кислой среды в желудке (рН 1.5-2.0) на короткий период времени, что создаст невыносимые условия для патогенов, виновных в формировании гастрита.

## Литература:

1. А.Ф. Каюмова, О.В. Самоходова, Г.С. Тупиневич, У.Т. Аллабердин, К.Р. Зиякаева., Физиология системы пищеварения. Учебное пособие – Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2018.
2. Рапорт С.И. Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь (Пособие для врачей). – М.: ИД МЕДПРАКТИКА-М», 2009 – 12 с.
3. Шоломицкая, И. А. Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь : метод. рекомендации. – Минск: БГМУ, 2009 – 30 с.
4. В.Т Ивашкин, И.В Маев, А.С. Трухманов, Е.К. Баранская, О.Б. Дронова<sup>3</sup>, О.В. Зайратьянц, Р.Г. Сайфутдинов<sup>4</sup>, А.А. Шептулин, Т.Л. Лапина, С.С. Пирогов, Ю.А. Кучерявый, О.А. Сторонова<sup>1</sup>, Д.Н. Андреев., Клинические рекомендации Российской гастроэнтерологической ассоциации по диагностике и лечению гастроэзофагеальной рефлюксной болезни., Рос журн гастроэнтерол гепатол колопроктол 2017; 27(4).
5. Машарова А.А., Бордин Д.С. Особенности гастроэзофагеальной рефлюксной болезни у пожилых.. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2007. – № 4. – с. 1–4.
6. Усманова З. У., Желчегонное действие сухого экстракта цикория., Вестник современной клинической медицины., 2010 том 3 приложение 1.
7. Ушкалова Е.А. Клиническая фармакология современных антацидов., Фарматека. – 2006. – №11. – с.1–6.
8. Альгинаты. Перечень препаратов, применение для желудка при ГЭРБ, изжоге, гастрите, эзофагите., healthperfect [Электронный ресурс] <https://healthperfect.ru/alginaty-perechen-preparatov.html> (дата обращения 15.08.2020)



9. Гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь ., Клинические рекомендации РФ (Россия) 2013-2017 .. MedElement [Электронный ресурс] <https://diseases.medelement.com/disease/гастроэзофагеальная-рефлюксная-болезнь-рекомендации-рф/15343> (дата обращения 12.08.2020)
10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОКИНЕТИКОВ ПРИ ГЭРБ., IZZHOGA.com [Электронный ресурс] <http://izzhoga.com/prokinetiki-pri-gehrb/> (дата обращения 15.08.2020)
11. Изжога. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ), под редакцией Петровского Б.В., 3-е издание, [Электронный ресурс] <https://бмэ.орг/index.php/ИЗЖОГА> (дата обращения 30.12.2020)
12. Рефлюкс. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ), под редакцией Петровского Б.В., 3-е издание, [Электронный ресурс] <https://бмэ.орг/index.php/РЕФЛЮКС> (дата обращения 30.12.2020)
13. Бабак О.Я. Желчный рефлюкс: современные взгляды на патогенез и лечение // Сучасна гастроентерологія. – 2003. – № 1 (11). – С. 28-30
14. МАЙКОВА Т.В., МОСІЙЧУК Л.М., ПЕТІШКО О.П., ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЖОВЧНОГО МІХУРА, СФІНКТЕРА ОДДІ ТА МОТОРНО-ЕВАКУАТОРНОЇ ФУНКЦІЇ ШЛУНКА У ХВОРИХ НА ГАСТРОЕЗОФАГЕАЛЬНУ РЕФЛЮКСНУ ХВОРОБУ. ДУ «Інститут гастроентерології НАМН України», м. Дніпропетровськ., Гастроентерологія № 1 (51) • 2014. С. 32-36.
15. Andersen B.N., Johansen P.B., Abrahamsen B. Proton pump inhibitors and osteoporosis // *Curr. Opin. Rheum.* — 2016. — № 28(4). — P. 420-425.
16. Yang Y.-X., Metz D.C. Безопасность лечения ингибиторами протонной помпы., *Клиническая Гастроэнтерология и Гепатология.*, Русское издание. – 2010. – Т. 3. – № 6. – С. 342–353
17. Spiegel J. (2008) Изжога. In: Loue S. J., Sajatovic M. (eds) энциклопедия старения и общественного здравоохранения. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-33754-8\\_217](https://doi.org/10.1007/978-0-387-33754-8_217)
18. Hsu, CS., Wang, CC., Wang, PC. et al. повышенная частота гастроэзофагеальной рефлюксной болезни у пациентов с хронической вирусной инфекцией гепатита В. *Гепатол Int* < wbr>4, < wbr>585-593 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12072-010-9184-4>
19. Catanzaro, R., Calabrese, F., Occhipinti, S. < wbr>et al. неалкогольная жировая болезнь печени увеличивает риск развития симптомов гастроэзофагеального рефлюкса. < wbr>Dig Dis Sci59, < wbr>1939-1945 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10620-014-3113-7>
20. Абдалла Дж., ФАС Р. (2018) Неэрозивная рефлюксная болезнь (НЭРБ). In: Bardan E., Shaker R. (eds) желудочно-кишечные расстройства моторики. Спрингер, Чам. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59352-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59352-4_10)

# ФИЗИКА, ТЕХНИКА

## СВЕРХЗВУКОВОЕ ОБТЕКАНИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФРАГМЕНТОВ КУБИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

**Голубев Владимир Константинович**

Кандидат физико-математических наук, доцент  
Нижний Новгород; Университет Людвига-Максимилиана, Мюнхен  
Независимый эксперт; приглашенный ученый

**Ключевые слова:** фрагмент кубической формы; сверхзвуковое обтекание; программа численного расчета; аэродинамическое взаимодействие; уравнения Навье-Стокса; модель турбулентности

**Keywords:** cubic fragment; supersonic flow; numerical calculation program; aerodynamic interaction; Navier-Stokes equations; turbulence model

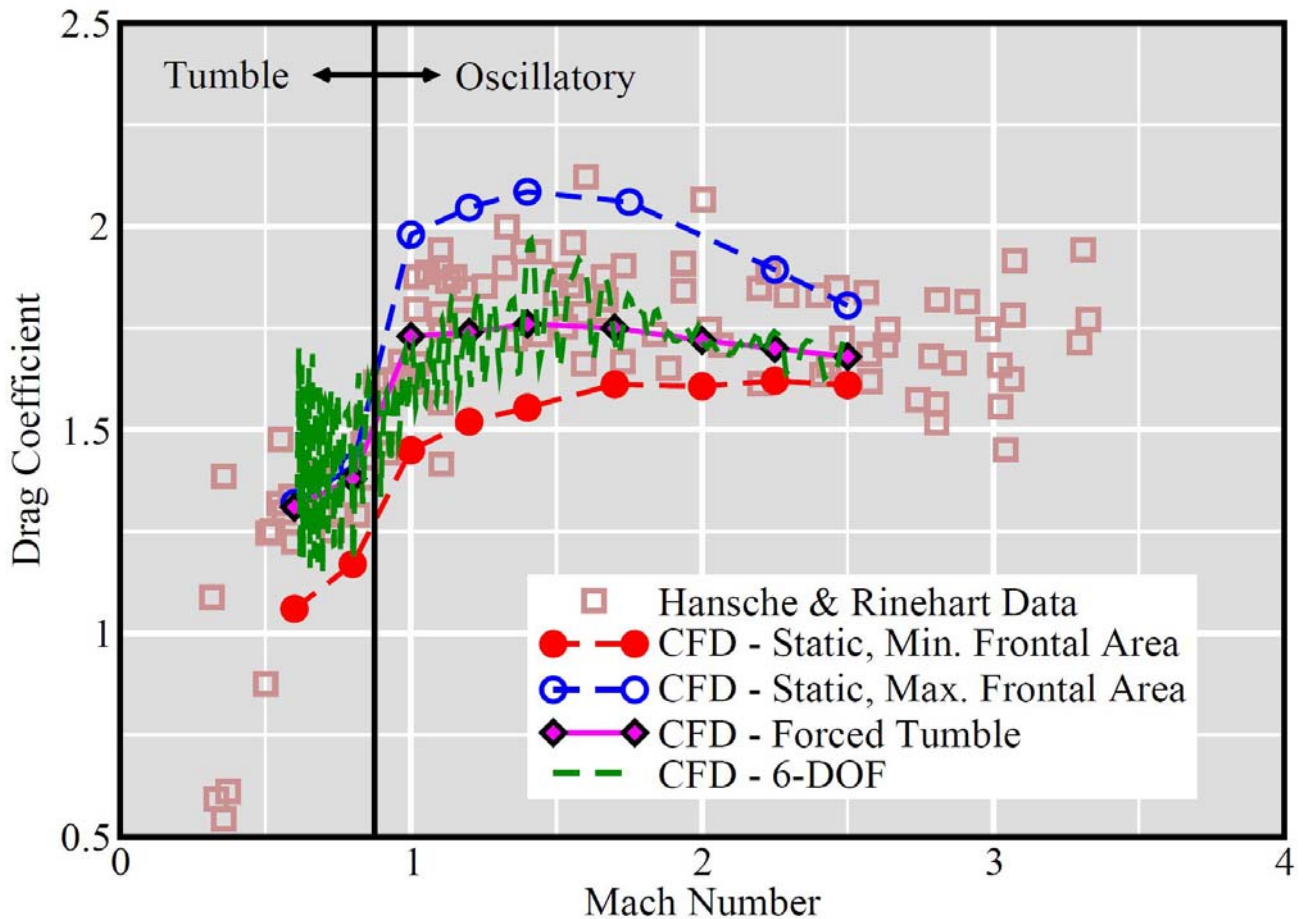
**Аннотация:** Представлены результаты расчетного исследования обтекания сверхзвуковым потоком воздуха фрагмента кубической формы и системы из двух близко расположенных фрагментов. Рассматривались фрагменты с длиной ребра 13.5 мм, различным образом ориентированные к направлению набегающего воздушного потока. Рассматривались также системы из двух фрагментов, смещенных друг относительно друга в продольном, поперечном и произвольном направлениях на расстояния до длины ребра. Диапазон используемых скоростей обтекания находился в пределах от 2 до 6 чисел Маха. Расчет процесса обтекания фрагментов проводился с использованием трехмерной программы численного расчета внешнего обтекания объектов сверхзвуковым потоком сжимаемого газа. Решались полные осредненные уравнения Навье-Стокса, дополненные двухпараметрической моделью турбулентности. Для воздуха использовалось уравнение состояния идеального газа. В результате для всех указанных случаев были получены достаточно полные картины обтекания и взаимодействия.

**Abstract:** The results of a computational study of a supersonic air flow around a cubic fragment and a system of two closely spaced fragments are presented. Fragments with an edge length of 13.5 mm and differently oriented to the direction of the incident air flow were considered. The systems of two fragments displaced relative to each other in longitudinal, transverse and arbitrary directions at distances up to the length of the edge were considered too. The flow velocities used were in the range from 2 to 6 Mach numbers. The computation of the flow around the fragments was carried out using a three-dimensional program for the numerical calculation of the external flow around objects by a supersonic flow of compressible gas. The complete averaged Navier-Stokes equations were being solved, supplemented by a two-parameter turbulence model. The equation of state of a perfect gas was used for air. As a result, sufficiently complete flow and interaction patterns were obtained for all specified cases.

**УДК 533.6.011.5****Введение и состояние вопроса**

Экспериментальное изучение сверхзвуковой аэродинамики фрагментов кубической формы проводилось в работе [1]. Фрагменты двух размеров, 1/4 и 3/8 дюйма, разгонялись до скоростей в диапазоне от 0.5 до 3.5 чисел Маха и запускались в измерительный участок аэробаллистической трассы. Пролет фрагмента фиксировался на шести контактных системах, расположенных на расстоянии 25 футов между ними. Была определена скорость фрагмента на каждом пролетном участке, а его торможение при пролете всего измерительного участка тира рассчитывалось на основании аппроксимации решения учитывающего аэродинамическое торможение дифференциального уравнения движения. Таким путем в каждом опыте для конкретной начальной скорости полета определялся коэффициент лобового сопротивления кубического фрагмента. Было получено, что для каждой конкретной скорости данные выполненных измерений не дают однозначного значения коэффициента лобового сопротивления, а имеют существенный разброс и скорее представляют собой набор значений этого коэффициента для вращающегося куба. В результате была построена зависимость совокупности коэффициентов лобового сопротивления куба при его произвольной в процессе полета ориентации от его скорости в указанном диапазоне чисел Маха. В качестве же более определенной характеристики было предложено использовать среднее значение этого коэффициента для конкретного узкого диапазона скоростей.

Полученные в работе [1] экспериментальные результаты были использованы для сопоставления и калибровки мощного аэродинамического расчетного комплекса в работе [2]. Расчеты изменения коэффициента сопротивления кубического фрагмента при различных скоростях обтекания выполнялись в работе [2] с использованием нескольких различных методов моделирования. Полученные в этом случае результаты показаны на рис. 1.



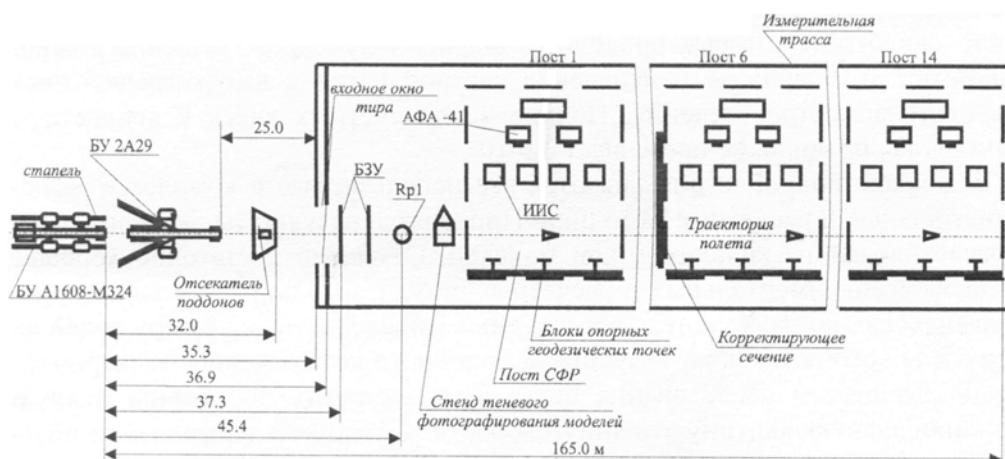
**Рис. 1. Изменение коэффициента лобового сопротивления куба в зависимости от числа Маха обтекающего потока: квадрат – экспериментальные результаты из работы [1]; красный круг – статическое моделирование для минимальной фронтальной поверхности куба; синий круг без заливки - статическое моделирование для максимальной фронтальной поверхности куба; ромб с сиреневой заливкой – динамическое моделирование с принудительным переворачиванием куба; зеленый штрих – моделирование обтекания куба с 6 степенями свободы.**

Статическое моделирование проводилось на закрепленном кубе с минимальной и максимальной обтекаемой фронтальной поверхностью. Эти вычисления хорошо отслеживают нижнюю и верхнюю границы разброса экспериментальных результатов. Чтобы смоделировать среднее динамическое движение, куб вращался с постоянной скоростью вокруг всех трех осей при фиксированном числе Маха. Среднее значение этого динамического моделирования за полный цикл называли имитацией принудительного переворачивания. Результаты, полученные в условиях принудительного переворачивания куба, делят разброс экспериментальных данных примерно пополам. Последний показанный на рисунке тип моделирования представляет собой моделирование с 6 степенями свободы, при котором куб запускается в однородный поток и может смещаться и вращаться под действием аэродинамических нагрузок. Эти результаты показывают, что куб с 6 степенями свободы при воздействии на него сверхзвукового потока начинает колебаться, что в конечном итоге приводит к его потере устойчивости и переворачиванию. Прогноз сопротивления по траектории с 6 степенями свободы также находится в пределах

экспериментальных данных. Среднее по ансамблю многих траекторий с 6 степенями свободы, запущенных с различными начальными условиями (ориентацией, скоростью вращения), в этом случае сводится к предсказанию, основанному на результатах динамического моделирования с принудительным переворачиванием.

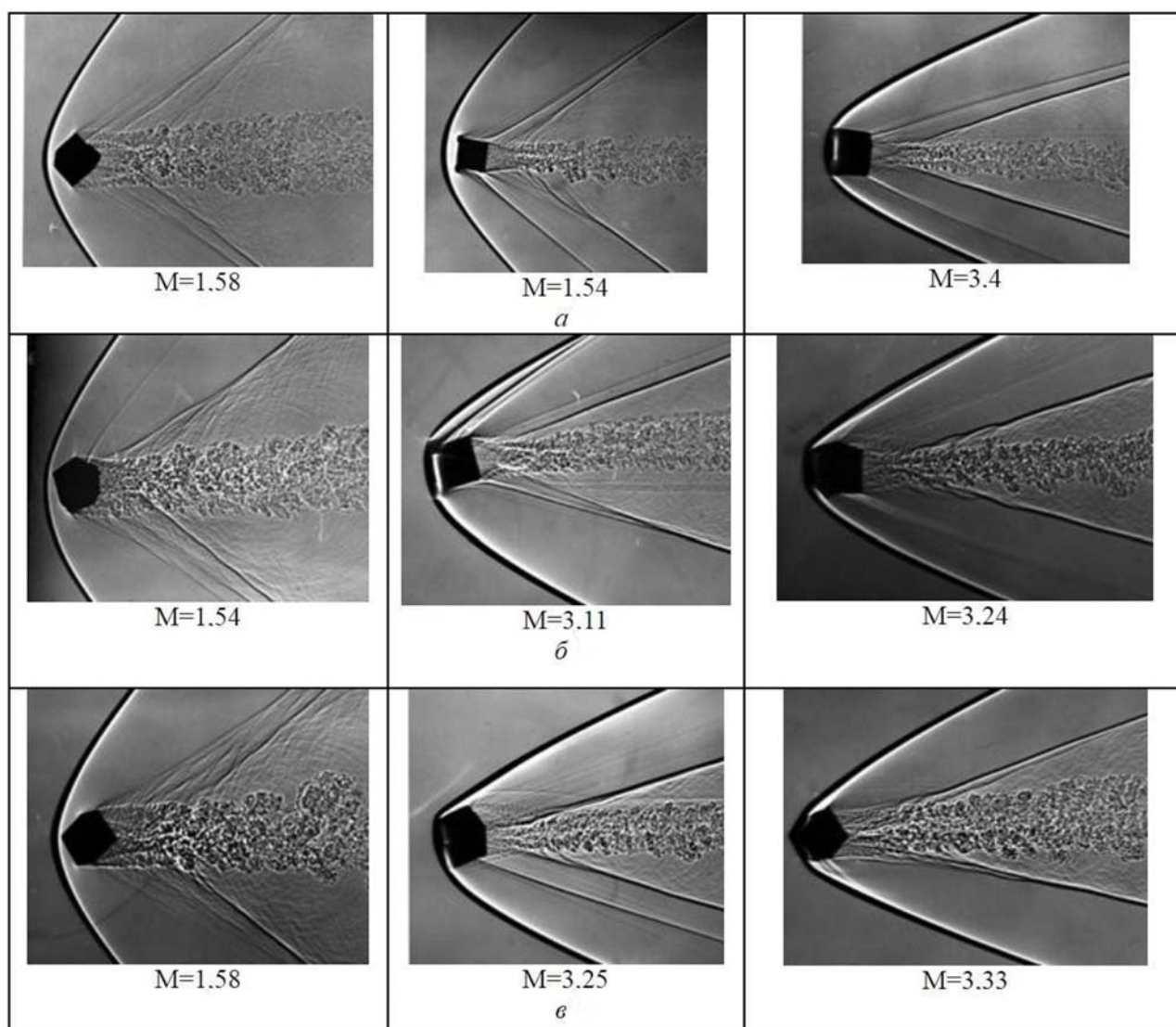
Автором проводилось расчетное исследование обтекания сверхзвуковым потоком воздуха большого числа различных объектов. В частности изучались вопросы сверхзвукового обтекания и аэродинамического взаимодействия фрагментов кубической формы. Некоторые из этих результатов докладывались на ведомственных научных конференциях и были представлены в аннотированном виде в тезисах одной из конференций [3]. В работе рассматривались как единичные кубические фрагменты с длиной ребра  $d = 13.5$  см, расположенные под различными углами к направлению набегающего потока, так и системы из двух близко расположенных фрагментов. Расстояние между крайними гранями двух фрагментов менялось в пределах от 0.25 до 4  $d$ , а их взаимное пространственное расположение учитывало различные возможные ситуации. Диапазон рассмотренных начальных скоростей обтекания находился в пределах от 2 до 6 чисел Маха.

Стоит отметить, что расчетные исследования обтекания объектов сверхзвуковым потоком проводились, прежде всего, для объектов, испытываемых экспериментально в аэробаллистическом тире, кратко описываемом в материалах той же конференции [4]. Схема аэробаллистического тира АБТ-2 показана на рис. 2. Он имеет следующие основные технические характеристики: диапазон реализуемых скоростей полета – 130-3700 м/с, калибр испытываемых моделей – 0.016-0.140 м, длина измерительного участка – 123 м, среднее количество регистрируемых положений моделей в опыте – 40-50 с шагом регистрации 1.5-3.0 м. Система управления и регистрации тира обеспечивает включение регистрирующих камер и управление средствами оптической регистрации в реальном масштабе времени, от миллисекундного до секундного диапазона с микросекундной дискретностью и регистрацию времен срабатывания устройств с дискретностью до 0.1 мкс. При проведении испытаний модели отстреливаются из пороховой или легкогазовой баллистической установки с заданной программой испытаний по скорости и углу атаки. Синхронно с полетом модели осуществляется многократная регистрация в фиксированные моменты времени ее линейного и углового положения в пространстве. Для получения теневых спектров обтекания моделей в полете используются два стенда теневого фотографирования в двух перпендикулярных плоскостях с применением точечных электровзрывных источников света.



**Рис. 2. Схема аэробаллистического тира АБТ-2 для определения аэродинамических характеристик и визуализации сверхзвукового обтекания моделей.**

В работе [5] приведены результаты расчетов коэффициентов лобового сопротивления сверхзвукового обтекания кубических фрагментов, ориентированных гранью, ребром и вершиной относительно направления набегающего потока. Также для кубических фрагментов размером 8 мм приведены результаты регистрации линейных координат и полетного времени на траектории полета в не менее чем 12 точках на длине измерительного участка более 50 м, полученные в аэробаллистическом тире АБТ-2. Фрагменты в этом случае разгонялись вплоть до скоростей 2 км/с путем отстрела из пороховой баллистической установки калибром 23 мм. Полученные в этих опытах результаты хорошо согласуются с основополагающими экспериментальными результатами по определению коэффициента лобового сопротивления куба, приведенными в работе [1]. Кроме внешнетраекторных параметров, в работе приведены также широкоформатные теневые спектры обтекания фрагментов в полете. Эти спектры хорошо дополняют результаты работы [1] и показаны для наглядности на рис. 3. Указывалось, что первоначально кубы были ориентированы различным образом, но, как показывают теневые картины на расстоянии 20 м от выходного сечения канала ствола, начальная ориентация фрагментов менялась из-за вращения в процессе полета.



**Рис. 3. Спектры обтекания кубических фрагментов, первоначально ориентированных в канале ствола гранью (а), ребром (б) и вершиной (в).**

В данной работе в относительно полном виде приведены основные результаты расчетного исследования, полученные при выполнении работы [3]. Для одиночного кубического фрагмента в диапазоне скоростей обтекания, соответствующем числам Маха от 2 до 6, определены все три его основных аэродинамических коэффициента для любой произвольной его ориентации по отношению к направлению набегающего потока. Для системы из двух близко расположенных фрагментов рассмотрен характер их взаимодействия в нескольких положениях взаимного расположения в том же диапазоне скоростей обтекания.

### **Результаты расчетов и обсуждение**

Рассматривалось сверхзвуковое обтекание фрагментов кубической формы с длиной ребра 13.5 см, расположенных под различными углами к направлению набегающего потока воздуха, а также системы из двух близко расположенных фрагментов. Приводятся результаты, когда расстояния между соседними фрагментами не превышали длины ребра куба. Диапазон рассмотренных скоростей обтекания

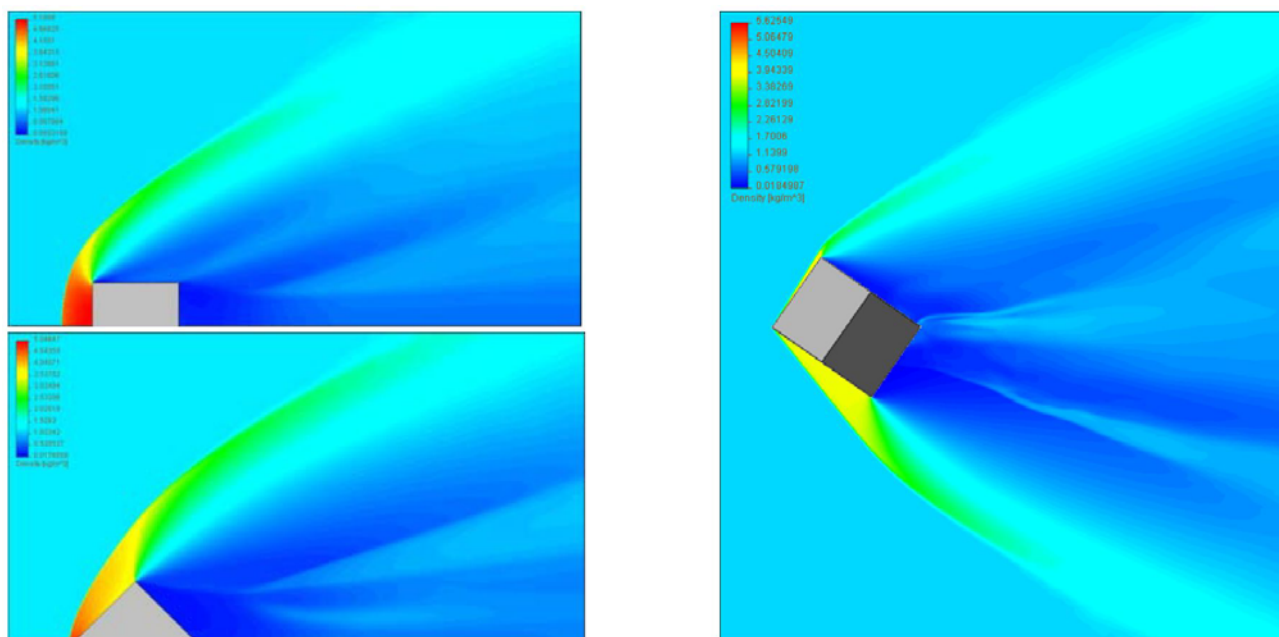
соответствовал числам Маха в пределах от 2 до 6. Верхнее значение ограничивалось в основном используемым в расчетной программе уравнением состояния воздуха. Расчет процесса обтекания фрагментов проводился с использованием трехмерной программы численного расчета внешнего обтекания объектов сверхзвуковым потоком сжимаемого газа, реализованной в инженерном пакете вычислительной гидроаэродинамики EFD.Lab [6].

Для моделирования был выбран метод численного решения полных уравнений Навье-Стокса, усредненных по Рейнольдсу и дополненных  $k-\varepsilon$  моделью турбулентности. Трехмерный расчет процесса внешнего обтекания рассматриваемых фрагментов сверхзвуковым потоком воздуха проводился с учетом соответствующих граничных условий на поверхностях фрагментов и на стенках расчетной области. Размеры расчетной области выбирались с определенным запасом, чтобы полностью исключить их возможное влияние на результаты расчета в основной зоне обтекания и взаимодействия. Для воздуха, исходно находящегося при нормальном атмосферном давлении, использовалось единственное вшитое в используемую аэродинамическую программу уравнение состояния идеального газа. С определенной натяжкой, но его еще можно использовать в сопоставительном расчете для скорости обтекания, соответствующей числу Маха  $M = 6$ .

В результате решения были определены аэродинамические силы и моменты, действующие на обтекаемые поверхности фрагментов, а также все параметры воздуха, текущего в расчетном объеме - поля давления, плотности, температуры и скорости. Полный расчет разбивался на несколько этапов (итераций), в конце каждого из которых проводился автоматический анализ полученного решения, и на основании этого анализа осуществлялось измельчение расчетной сетки в высокоградиентных областях параметров потока. Полное число счетных ячеек в конкретном расчете, как правило, не превышало  $2.5 \cdot 10^6$ . Точность получаемых результатов оценивалась по характеру сходимости решения на каждом из рассмотренных этапов расчета. Условия симметрии использовались для уменьшения расчетной области. В ходе расчета определялись такие аэродинамические характеристики каждого фрагмента, как коэффициент лобового сопротивления  $C_x$ , коэффициент подъемной (поперечной) силы  $C_y$  и коэффициент момента  $m_z$ . В качестве характерной площади и характерной длины в этом случае брались значения площади грани и длины ребра куба. В результате для всех рассмотренных ситуаций были получены достаточно полные картины течения и взаимодействия в широком диапазоне используемых пространственных и скоростных параметров.

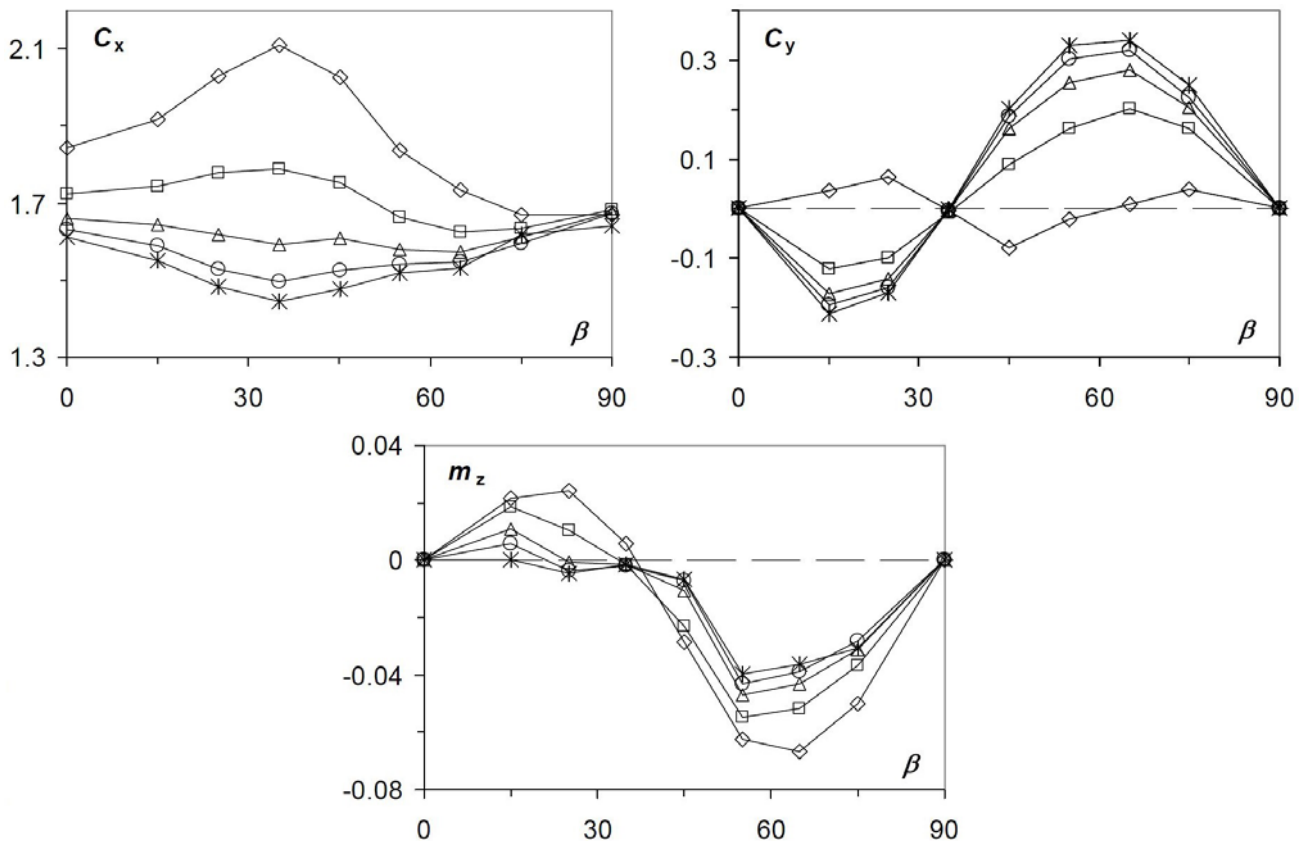
Некоторые результаты, полученные при обтекании отдельных кубических фрагментов, представлены на рис. 4, 5. Результаты обтекания одиночного куба для его трех положений, симметричных относительно направления потока, ориентированного в направлении оси  $x$ , показаны на рис. 4 для одной скорости обтекания. В соответствии с условиями симметрии в случаях, когда куб был ориентирован гранью и ребром поперек направления набегающего потока, использовалась только четвертая часть полной расчетной области, окружающей фрагмент, а в случае, когда он был ориентирован своей диагональю в направлении набегающего потока, использовалась половина полной расчетной области. Полученные картины обтекания характеризуют течения в плоскости, соответствующей срединному сечению куба.





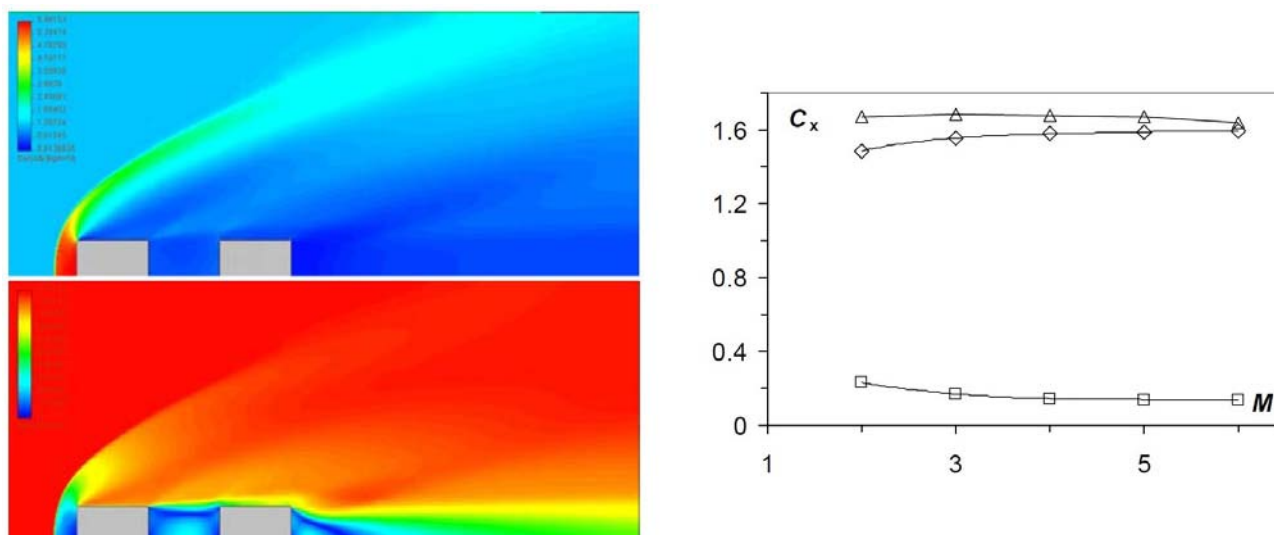
**Рис. 4. Обтекание куба (поля плотности) для его трех симметричных относительно направления потока положений и скорости обтекания, соответствующей  $M = 3$ .**

Значительный объем полученной информации по аэродинамическим коэффициентам куба при его различных ориентациях и скоростях обтекания представлен на рис. 5. Здесь начальное положение куба соответствовало его ориентации ребром поперек направления набегающего потока, а направление ребра куба совпадало с направлением оси  $z$ . На рис. 4 положение куба также соответствовало его ориентации ребром поперек направления набегающего поток, однако направление ребра куба совпадало в этом случае с направлением оси  $y$ . Последующее изменение угла переднего ребра куба относительно его начального положения происходило по часовой стрелке, то есть приведенный угол  $\beta$  фактически является углом атаки, аэродинамический коэффициент  $C_y$  является коэффициентом подъемной силы, а аэродинамический коэффициент  $m_z$  является коэффициентом момента тангажа. Таким образом, при вращении куба из исходного положения в пределах изменения угла атаки от  $0$  до  $90^\circ$  он фактически проходит все основные возможные ориентации, от ориентации ребром при  $\beta = 0^\circ$ , через ориентацию вершиной (диагональю) при  $\beta = 35.26^\circ$ , до ориентации гранью при  $\beta = 90^\circ$ . Подобные результаты получены и представлены для всех рассмотренных скоростей обтекания.



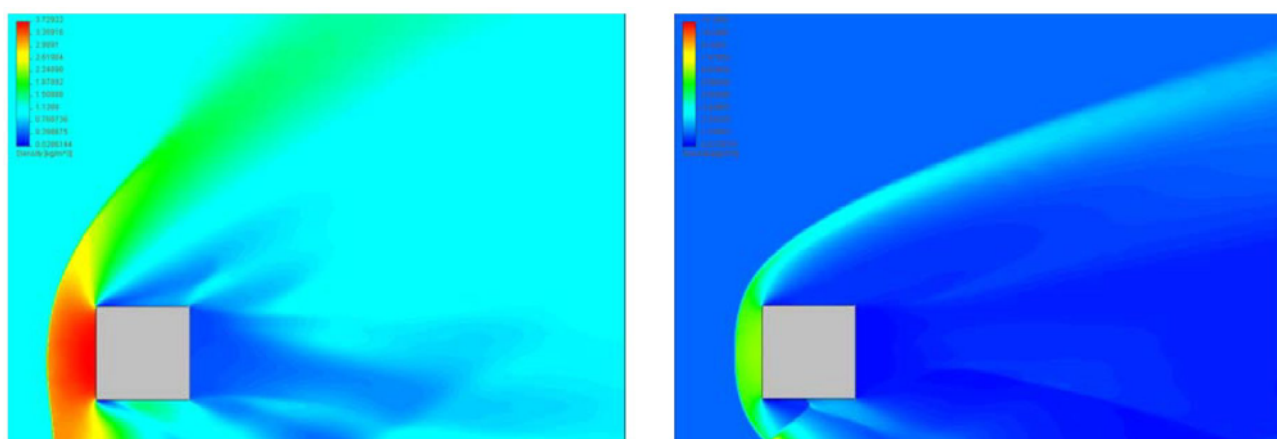
**Рис. 5. Влияние изменения угла переднего ребра куба относительно его начального положения на аэродинамические коэффициенты куба для скоростей обтекания, соответствующих  $M = 2 - 6$  (ромб, квадрат, треугольник, круг, ж).**

Некоторые результаты, полученные при обтекании двух кубических фрагментов, смещенных в продольном направлении на расстояние 13.5 мм представлены на рис. 6. Характер обтекания кубов показан здесь для одной скорости обтекания. В соответствии с условиями симметрии в расчете использовалась только четвертая часть полной расчетной области, окружающей фрагменты. Результаты расчета коэффициентов лобового сопротивления для такой конфигурации фрагментов получены и представлены для всех рассмотренных скоростей обтекания. Для сравнения приведены также аналогичные результаты для одиночного куба.



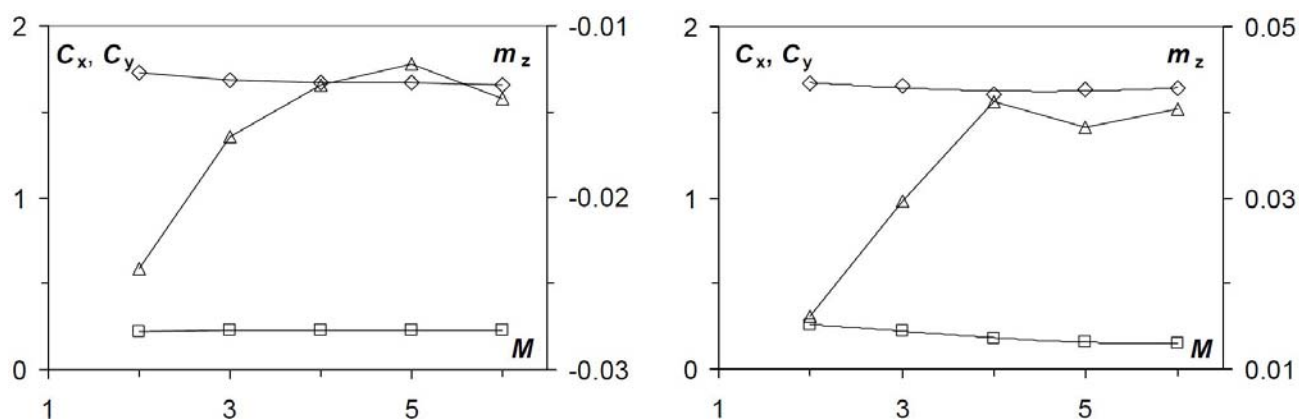
**Рис. 6.** Слева - характер обтекания двух кубов (сверху - поле плотности, снизу - поле скорости), смещенных в продольном направлении на расстояние 13.5 мм при скорости обтекания, соответствующей  $M = 4$ . Справа – влияние скорости обтекания на коэффициенты лобового сопротивления первого (ромб) и второго (квадрат) кубов, расположенных на расстоянии 13.5 мм, и на коэффициент лобового сопротивления одиночного (треугольник) куба.

Некоторые результаты, полученные при обтекании двух кубических фрагментов, смещенных в поперечном направлении на расстояния 13.5 и 6.75 мм представлены на рис. 7, 8. Характер обтекания кубов показан на рис. 7 для двух скоростей обтекания. В соответствии с условиями симметрии в расчете использовалась только четвертая часть полной расчетной области, окружающей фрагменты. Отчетливо просматривается существенно различный характер аэродинамического взаимодействия фрагментов.



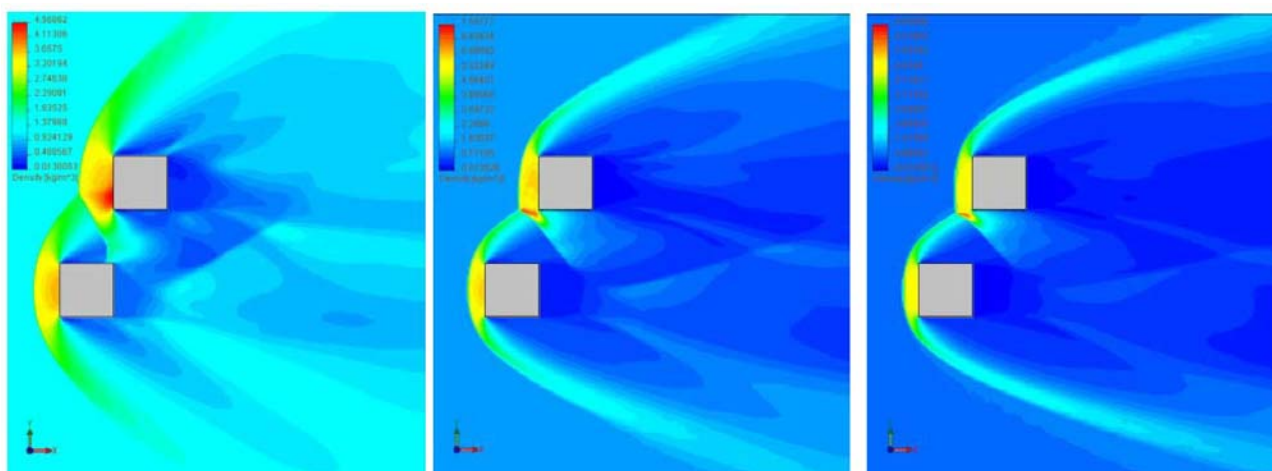
**Рис. 7.** Характер обтекания двух кубов (поля плотности), смещенных в поперечном направлении на расстояние 13.5 мм для скоростей обтекания, соответствующих  $M = 2$  (слева) и  $M = 6$  (справа).

Результаты по влиянию скорости обтекания на аэродинамические коэффициенты двух кубов, смещенных в поперечном направлении на расстояния 6.75 мм и 13.5 мм показаны на рис. 8 для всех рассмотренных скоростей обтекания. Здесь, если поведение коэффициентов сопротивления для обоих случаев является подобным, то для коэффициентов момента оно существенно различно. В случае меньшего расстояния аэродинамический момент приводит к закручиванию фрагмента по часовой стрелке, а в случае большего расстояния уже против часовой стрелки.



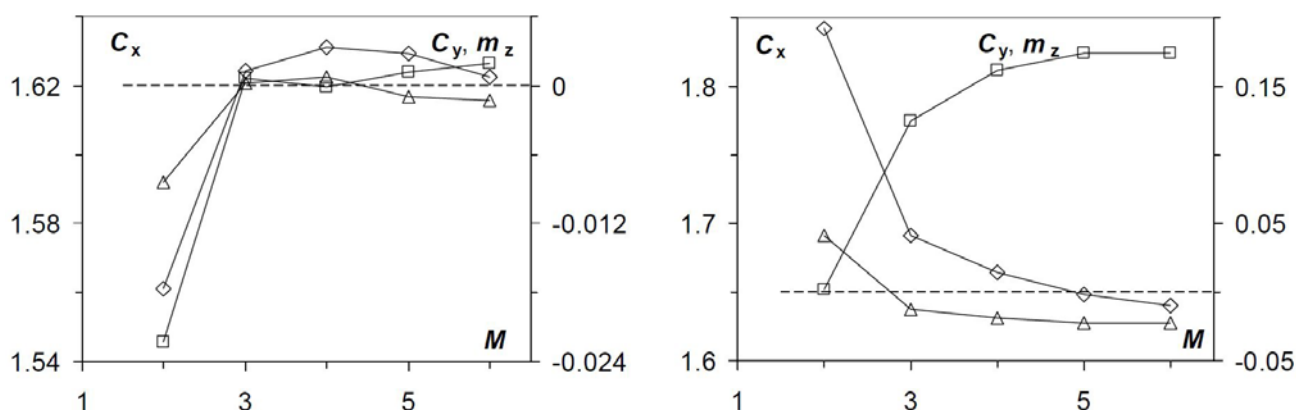
**Рис. 8. Влияние скорости обтекания на аэродинамические коэффициенты  $C_x$  (ромб),  $C_y$  (квадрат) и  $m_z$  (треугольник) двух кубов, смещенных в поперечном направлении на расстояния 6.75 мм (слева) и 13.5 мм (справа).**

Некоторые результаты, полученные при обтекании двух кубических фрагментов, расположенных в результате продольного и поперечного смещения одинаковым образом, но обтекаемых потоками с различными скоростями, представлены на рис. 9, 10. Характер обтекания кубов показан на рис. 9 для трех скоростей обтекания. В соответствии с условиями симметрии в расчете использовалась только половина полной расчетной области, окружающей фрагменты. В данном случае поперечное смещение второго фрагмента составляет 13.5 мм, как расстояние между фрагментами, а его продольное смещение можно определять как расстояние по оси  $x$  от плоскостей, проходящих по передней или по задней грани переднего фрагмента, то есть 13.5 или 0 мм. Можно отметить существенно различный характер аэродинамического взаимодействия фрагментов при различных скоростях обтекания.



**Рис. 9. Характер обтекания двух кубов (поля плотности) при их расположении с продольным смещением, равным нулю, и поперечным смещением, равным 13.5 мм для скоростей обтекания, соответствующих  $M = 2$  (слева),  $M = 4$  (посередине) и  $M = 6$  (справа).**

Результаты по влиянию скорости обтекания на аэродинамические коэффициенты двух кубов, при их расположении, показанном на рис. 9, приведены на рис. 10. Здесь можно отметить, что если первый куб в той или иной степени влияет на поведение второго при всех скоростях обтекания, то явное влияние второго куба на поведение первого просматривается только при скорости обтекания, соответствующей числу Маха  $M = 2$ .



**Рис. 10. Влияние скорости обтекания на аэродинамические коэффициенты  $C_x$  (ромб),  $C_y$  (квадрат) и  $m_z$  (треугольник) первого (слева) и второго (справа) кубов при их расположении, показанном на рис. 9.**

## Заключение

Экспериментальные результаты по аэродинамике отдельных кубических фрагментов, показанные на рис. 1, 3 указывают на значительный разброс получаемых данных по величине коэффициента лобового сопротивления, что обусловлено наблюдаемой аэродинамической неустойчивостью ориентации куба при сверхзвуковом обтекании. Поэтому в качестве основной определяющей величины в

эксперименте могут быть получены, прежде всего, средние значения коэффициента сопротивления, соответствующие конкретным условиям проведения испытаний, таким как скорость обтекания и исходное состояние обтекающей среды, то есть воздуха в нашем случае. Высокоточные динамические расчеты приводят к тем же средним значениям, что подтверждает, прежде всего, высокую взаимную точность результатов экспериментов и расчетов.

Статические расчетные результаты по аэродинамике отдельных кубических фрагментов, показанные на рис. 4, 5 дают возможность разобраться в особенностях влияния ориентации фрагмента и скорости его обтекания на значения аэродинамических коэффициентов и учесть это влияние при анализе последующего поведения фрагментов. Еще больший интерес представляют результаты по аэродинамическому взаимодействию фрагментов в процессе обтекания. Только учет этого взаимодействия позволяет прогнозировать эволюцию системы фрагментов в процессе их совместного обтекания.

В этом плане полученные результаты по аэродинамическому взаимодействию не только представляют самостоятельный интерес, но также могут быть использованы для аэробаллистических оценок характера начальной стадии траекторного рассеяния группы фрагментов, исходно движущихся параллельно в одном направлении с одинаковыми скоростями. Исходя из этого можно учесть влияние различных факторов, в том числе рассмотренных в работе: скорости движения, исходного состояния воздушной среды, поверхностной и объемной плотности расположения фрагментов и их начальной ориентации на характер развития этого процесса и предложить исходные компоновки и условия разгона, минимизирующие эффект рассеяния.

#### Литература:

1. Hansche G.E., Rinehart J.S. Air drag on cubes at Mach numbers 0.5 to 3.5 // J. Aeronaut. Sci. - 1952. Vol. 19, Iss. 2. P. 83-84.
2. Murman S.M., Aftosmis M.J., Rogers S.E. Characterization of space shuttle ascent debris aerodynamics using CFD methods // AIAA Paper. - 2005. 1223, 2005, 20 p.
3. Голубев В.К. Расчетный анализ сверхзвукового обтекания фрагментов кубической формы // Материалы XXXIV Научно-технической конференции "Проектирование боеприпасов". - Москва: МГТУ им. Баумана, 2007. - С. 133-135.
4. Герасимов С.И., Голубев В.К., Файков Ю.И. Экспериментально-расчетный комплекс для определения аэродинамических характеристик и визуализации сверхзвукового обтекания гиперзвуковых летательных аппаратов // Материалы XXXIV Научно-технической конференции "Проектирование боеприпасов". - Москва: МГТУ им. Баумана, 2007. - С. 128-130.
5. Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Кикеев В.А., Герасимова Р.В., Каныгин И.И., Фомкин А.П. Визуализация сверхзвукового обтекания фрагментов кубической формы // Научная визуализация. - 2015. - Т. 7, № 3. - С. 44-52.
6. Balakin V., Churbanov A., Gavrioliouk V., Makarov M. Pavlov A. Verification and validation of EFD.Lab code for predicting heat and fluid flow // Proceedings of III International Symposium on Advances in Computational Heat Transfer. - Norway, 2004. - 21 p. URL: <http://dl.begellhouse.com/references/1bb331655c289a0a,65b0669d21e4a044.html>

# ЭКОНОМИКА

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ БАНКОВСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Ефимченко Дарья Сергеевна**

Академия управления при Президенте Республики Беларусь  
студентка

**Воронин Сергей Михайлович, кандидат экономических наук, доцент, кафедра  
экономики организации, Академия управления при Президенте Республики  
Беларусь**

**Ключевые слова:** цифровизация; банки; информационные технологии; цифровые продукты

**Keywords:** digitalization; banks; information technologies; digital products

**Аннотация:** Данная статья раскрывает сущность цифровизации, ее признаки, а также особенности цифровой трансформации финансового рынка, в частности банковского сектора. В дополнение приводятся как преимущества трансформационных изменений, так и риски, связанные с данными процессами.

**Abstract:** This article reveals the essence of digitalization, its features, as well as the features of the digital transformation of the financial market, in particular the banking sector. In addition, both the benefits of transformational changes and the risks associated with this processes are given.

**УДК 336.71**

### **Введение**

Стремительное развитие цифровых технологий приводит к беспрецедентной трансформации индустрии финансовых услуг. Это выражается в изменении как рыночной конъюнктуры, предпочтений клиентов и потребительских привычек, так и процесса взаимодействия между поставщиками финансовых услуг и клиентами, банками и регулирующими органами. Изменения, как правило, затрагивают формат предоставления финансовых услуг и, как следствие, обуславливают адаптацию бизнес-моделей банков, а также приводят к изменчивости конкурентной среды [5].

**Цель исследования** – определить направления цифровизации банковского сектора Республики Беларусь, обосновать положительные аспекты данного процесса.

### **Основная часть**

Цифровая трансформация представляет собой современный инновационный этап экономического развития страны. Она заключается в принципиальном изменении структуры экономики, ее глобальной виртуализации посредством внедрения цифровых технологий. Основными признаками цифровизации являются непрерывное развитие, повышение гибкости, адаптивность, обмен информацией и реализация операций в режиме реального времени [5].

Одним из основных документов, регламентирующих цифровую трансформацию финансового рынка, была Стратегия развития цифрового банкинга в Республике Беларусь на 2016 – 2020 годы (далее – Стратегия). Приоритетная цель Стратегии заключалась в расширении к 2021 году взаимодействия банков, их клиентов, республиканских органов государственного управления и коммерческих организаций посредством электронных каналов коммуникаций.

Согласно данной Стратегии основными задачами развития цифрового банкинга на 2016 – 2020 годы являлись:

- создание и внедрение межбанковской системы идентификации (МСИ);
- разработка единых стандартов безопасности в области электронного взаимодействия, в том числе создание единого центра реагирования на инциденты информационной безопасности в финансовой сфере;
- внедрение API (Application Programming Interface);
- развитие каналов СДБО (система дистанционного банковского обслуживания);
- развитие платежных агрегаторов;
- формирование системы безналичных расчетов по розничным платежам, бесконтактных технологий и рынка электронных денег;
- цифровая трансформация рынка финансовых услуг;
- внедрение универсальной схемы взаимодействия участников рынка финансовых услуг [3].

На текущем этапе ожидается принятие новой Стратегии развития цифрового банкинга в Республике Беларусь на ближайшую пятилетку (2021–2025 гг.). Предполагается дальнейшая работа по обеспечению эффективности функционирования банковского сектора с помощью совершенствования электронных каналов коммуникаций.

В настоящее время практически все банки в Беларуси декларируют курс на цифровую трансформацию при разработке собственной стратегии развития, которая предусматривает преобразование корпоративных бизнес-процессов, а также создание новых конкурентных преимуществ, в том числе за счет внедрения информационных технологий.

Цифровая трансформация банков в Республике Беларусь включает:

- дистанционное банковское обслуживание;
- платежные сервисы и приложения;
- карточные продукты;
- кросс-партнерство (партнерство по обмену базами клиентов);
- кибербезопасность (защита персональных данных);
- робоэдвайзинг – роботы-советники на основе искусственного интеллекта;



- смарт-контракты;
- удаленная идентификация;
- биометрия (распознавание) для контроля доступа к информации, включая как отпечатки пальцев или сетчатку глаза, так и поведенческую биометрию;
- аналитика персонального подбора услуг под клиента;
- использование платформ искусственного интеллекта [1].

Система дистанционного банковского обслуживания, представленная интернет-банкингом, мобильным банкингом и другими сервисами, пользуется наибольшей популярностью, так как дает следующие возможности:

- пользование услугами банка круглосуточно не выходя из дома;
- персональный подбор банковских услуг;
- расширение способов оплаты товаров и услуг;
- сокращение времени проведения платежей, онлайн-выбор банковских услуг;
- биометрия для контроля доступа к информации;
- возможность стать клиентом различных банков удаленно с использованием МСИ;
- расширенная аналитика на основе больших данных в облаке [2].

Электронные платежные системы пока менее востребованы, чем банковские карты. Однако их развитие имеет весьма значительный потенциал. При платежах в интернете, покупках через сайты, частных переводах, платежные системы, не связанные банками, оказываются не менее удобными, а часто более гибкими и выгодными, чем банковские карты.

В Беларуси самыми массовыми электронными платежными системами стали:

- WebMoney. Система российского происхождения, имеющая электронные аналоги российского и белорусского рубля, украинской гривны, казахстанского тенге, доллара США, евро, золота, биткойна и лайткоина.
- Яндекс.Деньги. Один из сервисов Яндекса. В основе системы лежит российский рубль, но имеется возможность обмена валюты.
- PayPal. Международная мультивалютная платежная система, действующая более чем в 200 странах мира. В Беларуси и некоторых других странах PayPal удобнее для платежей, но не для вывода средств в наличные.

Действуют также белорусские платежные системы:

- WebPay – сервис переводов между банковскими картами MasterCard и VISA. Совместно с Приорбанком WebPay создал и поддерживает сервис ePay.
- I Pay – еще один отечественный сервис, интегрированный с названными выше платежными системами, а также с ЕРИП и мобильными операторами А1(ранее VELCOM), LIFE, МТС. Среди прочего в нем можно переводить деньги со счетов сотовых телефонов.

Еще один платежный сервис, название которого постоянно «на слуху» - ePayments. Это не отдельная система, а объединение разных, в т.ч. перечисленных выше платежных систем в один сервис [7].

Определение карточного продукта производится через набор услуг, оказываемых держателю карты, и соответствующих тарифов. Карты с бесконтактной технологией позволяют осуществлять платеж без подтверждения пин-кодом или подписью, не превышающий по сумме определенный лимит.

В законодательстве Республики Беларусь смарт-контракт понимается как программный код, предназначенный для функционирования в реестре блоков транзакций (блокчейне), иной распределенной информационной системе в целях автоматизированного совершения и (или) исполнения сделок либо совершения иных юридически значимых действий (п. 9 приложения 1 к Декрету Президента Республики Беларусь от 21.12.2017 № 8 «О развитии цифровой экономики»).

Таким образом, смарт-контракт может быть определен как договор между двумя и более сторонами об установлении, изменении или прекращении юридических прав и обязанностей, в котором часть или все условия записываются, исполняются и/или обеспечиваются компьютерным алгоритмом автоматически в специализированной программной среде. Или мы можем сказать, что смарт-контракт – программа, в которой закреплено, что будет происходить, если наступит то или иное обстоятельство [4].

Возможность осуществления удаленной идентификации с использованием межбанковской системы идентификации с 2016 года позволяет банкам на базе своих программно-аппаратных решений обслуживать клиентов через каналы дистанционного банковского обслуживания не зависимо от того, является ли они клиентами банка или нет. Такая возможность предоставляется клиентам, которые уже выполнили первичные процедуры по идентификации в любом банке страны (лично присутствовали и собственноручно подписали необходимые документы). При втором и последующих обращениях в какой-либо банк на основании идентификационной информации, имеющейся в межбанковской системе идентификации обслуживание клиентов может проводиться дистанционно через каналы банковского обслуживания любыми методами, определяемыми банком самостоятельно в соответствии с его политикой по управлению рисками.

Трансформационные изменения характеризуются рядом преимуществ, однако в тот же момент сопровождаются новыми рисками: как системными (в случае широкого распространения деятельности банка или новой технологии), так и на микроуровне.

К преимуществам на микроуровне относятся удобство использования цифровых технологий, более широкий доступ к финансовым услугам, более низкие транзакционные издержки, более точная оценка рисков. Системными преимуществами являются повышение эффективности традиционных участников и расширение спектра инструментов финансирования и инвестирования.

В качестве рисков на микроуровне выделяются новые операционные (кибер) риски; защита прав потребителей, в том числе вопросы конфиденциальности данных, рекламы и раскрытия информации. Системные риски – снижение рентабельности традиционных участников и стоимости бренда, появление новых системно значимых институтов, медленная адаптация к новым конкурентным условиям [6].

## Вывод

Изменение позиционирования банков в современной финансовой системе не должно основываться только на внедрении новых цифровых продуктов и перевода банковских сервисов в онлайн-режим. Разработка современной стратегии и принципов работы, оптимизация и цифровизация внутренних процессов, а также выстраивание новых форм кооперации позволят сохранить ключевые позиции банков на финансовом рынке.

Именно цифровая трансформация банков поможет сохранить клиентов, расширить банковский бизнес за счет использования современных каналов, позволяющих более тесно сотрудничать с клиентами и четко понимать их предпочтения, уменьшить операционные затраты и повысить конкурентоспособность за счет современных цифровых услуг, привлекающих в банк новых клиентов.

## Литература:

1. Зубок С. Финтех-акселерация как способ внедрения инновационных решений и сервисов в банковскую деятельность / С. Зубок // Банкаўскі веснік. – 2020. – № 9 (686). – С. 28–37.
2. Лузгина А. Цифровизация платежных сервисов и розничной торговли как стимул для развития банковского сектора / А. Лузгина // Банкаўскі веснік. – 2020. – № 9 (686). – С. 16–27.
3. Об одобрении стратегии развития цифрового банкинга в Республике Беларусь на 2016-2020 годы [Электронный ресурс] : Постановление Правления Национального банка Республики Беларусь от 2 марта 2016 г. № 108 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
4. Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2020/january/44569/> (дата обращения: 01.03.2021).
5. Стома Н. Оценка развития цифровизации Республики Беларусь: анализ позиций в мировых рейтингах / Н. Стома // Банкаўскі веснік. – 2020. – № 12 (689). – С. 52–61.
6. Юзефальчик И. Механизмы совершенствования финансового регулирования в условиях цифровой трансформации / И. Юзефальчик // Банкаўскі веснік. – 2020. – № 9 (686). – С. 3–15.
7. MYFIN.BY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myfin.by/wiki/term/platezhnye-sistemy> (дата обращения: 01.03.2021).

# ЛИНГВИСТИКА, ЛИТЕРАТУРА

## К ПРОБЛЕМЕ МЕТАФОРИЗАЦИИ ТЕРМИНОВ ОТРАЖАЮЩИХ СПЕЦИФИКУ ПОНЯТИЯ «בראשית» В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА

**Бескровная Елена Наумовна**

кандидат филологических наук

ВУЗ "Международный гуманитарно-педагогический институт "Бейт-Хана"

преподаватель

**Ключевые слова:** Жреческий кодекс Устной Торы; роль истории в жизни человечества; слова-термины в творчестве Шолом-Алейхема

**Keywords:** Priest code in the Oral Torah; role the History in life of the peoples; words-terms in the creative works of Sholom-Aleihem

**Аннотация:** «Брашит» как первоначальная книга Жреческого кодекса Устной Торы не раз подвергалась изучению на протяжении более шести тысяч лет в еврейской мировой истории. В связи с этим как в древнееврейском языке, так и в идише появились слова-термины, отражающие Бытие Человека. Именно этой проблеме и посвящена статья Бескровной Е.Н. «К проблеме метафоризации терминов отражающих специфику понятия «בראשית» в произведениях Шолом-Алейхема».

**Abstract:** Genesis – the first book of Priest code of the Oral Torah is studying from the days of creation in World. At there in Hebrew and Jewish Languages is boning new words-terms , were reflecting the life of Men there problems is looking O. Beskrovna in the article “To the problem Metaphor terms in the book Genesis in the creative works of Sholom-Aleihem.”

**УДК 811.411.16: 81: 255.4**

Метафоризация как один из главных составляющих элементов раскрытия мировидения писателя получила широкое поле для изучения в славянских и других европейских литературах, однако, в еврейской литературе, и, в частности, в еврейской литературе на идише она как проблема мировидения изучена мало.

Также почти не изучена она и в произведениях Шолом-Алейхема, хотя она широко распространена в его раннем творчестве.

Автор, начинавший писать под влиянием Мапу, широко использовал в своих произведениях термины из ТаНаХа и Вавилонского Талмуда, и читателя, для которого идиш является родным интересно было познакомиться с произведением, и читая его сопоставлять методом «пилпул-хиллуким» точку зрения классического иудаизма (ортодоксального раввината) и хасидизма.

Основное внимание при этом уделялось понятию «Бог», как ведущему философскому определению в иудейско-хасидской традиции?

**אבי** **Бог, отец** – одно из первых слов, появившихся в древнееврейском языке. Графически восходит к понятию **Авраам**.

**אלוהים** - **Бог, господин Мира** предположительно этимологически восходит к пророку-праотцу **Элияху**

**פאטער** - **отец. Бог** в более поздней Талмудической традиции. Этимологически соотносится с тем же понятием в языках германской группы.

**אָט** **Бог**. Появляется в ашкеназской традиции и несет на себе отпечаток германской группы языков, в частности, немецкого.

**השעם-ברוך** **Бог**. Слово используется во всех произведениях Шолом-Алейхема. Графически совпадает со словами из древнееврейского языка и, хотя, возникло в период формирования языка Талмуда, т.е. арамейского языка.

**השעם** - **хасидское обращение к Богу**. Сформировалось в период становления Зохара и Шулхан-Аруха.

Следующий термин, который наиболее ярко описывает хасидское мировидение Шолом-Алейхема, а значит и характерную для него эпитетиизацию и метафоризацию – это термин, описывающий понятие «**בראשית**» (Бытие)

**איילעם** - **Мир, община**. Слово древне-еврейского происхождения отражает переход автора с позиции классического иудаизма к хасидизму.

**וועלט** – **Мир**. Слово заимствовано из языков германской группы, и, в частности, немецкого.

**דאך** - **крыша, мир, существование**. Слово заимствовано из украинского языка и в ходит в него в результате диахронического процесса, когда евреи приходят из Польши на территорию Западной Украины, а потом расселяются по всей ее территории.

**דיר** - **квартира, существование**. Слово вошло из идиша в современный иврит. И в зависимости от контекста отражает точку зрения Шолом-Алейхема на мир как детства, так и учебы автора в хедере.

**פינצערנישער** - **окошки**. Именно так с позиции описания еврейского штетла Шолом-Алейхем создает еврейский Мир.

**כייער** - **комнате, учебное заведение**. С точки зрения синхронии и диахронии, в контексте авторского восприятия действительности, Шолом-Алейхем описывает окружающую его еврейскую среду.

**שטאָט** – **городок**. Слово принадлежит к группе германских языков. Именно им Шолом-Алейхем пользуется для названия штетлов. Он ни в коем случае не подчеркивает малую значимость «маленького человека». Для него его герой является большим и значительным.

При этом особое внимание автор уделяет раскрытию понятия «Человек».

**יְהוּדִי** - **евреи**. Слово наиболее часто встречающееся в тексте.

**אָדָם** - **человек**. Графически сокращенная форма, заимствованная из группы германских языков. Наиболее характерна для романа Шолом-Алейхема «Иоселе-Соловей». Иногда используется как понятие Бог в ашкеназской традиции.

**מָשֶׁלֶט** - **человек**. Слово принадлежит к группе германских языков, и, в частности, немецкого.

**אֵפֶסֶת** - **плечи**. Наиболее характерное для Шолом-Алейхема описание незнакомых ему героев.

**פָּנִים** - в переводе с иврита **лицо**. В творчестве Шолом-Алейхема сочетается с понятием «Человек».

**רַבֵּן** - **раввин, учитель**. Слово заимствовано из древнееврейского языка, и в произведениях Шолом-Алейхема притерпевает графическое изменение.

**מִלְחָמָה** - **молодые люди, ученики**. Слово взято из украинского языка, однако, предположить, что оно именно славянского происхождения невозможно. Исследователю оно встретилось в романе «С ярмарки».

Раскрывая окружающий его Мир, Шолом-Алейхем не забывает и о заповеди между Богом и Человеком.

**נֶפֶשׁ** - **Душа**. Слово древнееврейского происхождения, которое наиболее характерно для романа Шолом-Алейхема «Стемпеню».

**נַפְשׁוֹ** - **Душа**. Слово древнееврейского происхождения, которое автор хотя и употребляет, но не часто.

**חַיִּים** - в переводе с иврита **Жизнь**. В текстах Шолом-Алейхема, по-нашему мнению, переводится именно этим понятием.

Рассмотрев некоторые примеры из произведений Шолом-Алейхема, можно говорить о том, что он в основном опирается на понятия талмудического хасидизма, но при этом четко использует метод «пилпул-хиллуким», характерный для хасидских раввинов Польши и Украины. При этом хасидизм в творчестве Шолом-Алейхема соизмеряется с украинской народной традицией, где Человек как основа христианской гносеологии занимает видное место как в начале Мира (Алеф – א), так и непосредственно в развитии философской категории «Бытия». Маленькие схематические детали, указанные нами в статье, позволяющие понять мир Шолом-Алейхема, где под термином Душа (**נֶפֶשׁוֹ**, **נֶפֶשׁ**) писатель подразумевает Человека (**אָדָם**, **אָדָם**) и маленький мир «маленького человека» в творчестве Шолом-Алейхема (Шолом-Рабиновича) раскрывает силу конкретной детали.

#### Литература:

1. Розенталь Д.Э., Теленкова М.А. Словарь-справочник лингвистических терминов. – Москва: Просвещение, 1976 – 543 с.

2. Хрестоматия по общему языкознанию. – Київ: Освіта України, 2008 – 715 с.
3. Шолом-Алейхем. Собрание починений в шести томах. – Москва: Художественная литература, 1959.
4. שולום-אלעזר פאלאג "דער עמעס" באנד 3-1948, מעלוכעמא - אלייכעם. אלע ווערק-לעמען Шолом-Алейхем. Полное собрание сочинений в 15 томах. – Москва: Дер Эмес, 1948 (еврейский язык)

## АСТРОНОМИЯ

### СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И ЦЕНТР ВРАЩЕНИЯ

*Дудин Александр Тимофеевич*  
Пенсионер

**Ключевые слова:** солнечная система; центр вращения; ускорение; скорость

**Keywords:** solar system; center of rotation; acceleration; speed

**Аннотация:** Определение расстояния до центра вращения Солнечной системы.

**Abstract:** Determination of the distance to the center of rotation of the Solar system.

**УДК 521**

**Введение.** Солнечная система входит в состав галактики Млечный путь, в которой насчитывается около 200 миллиардов звёзд. Солнечная система расположена в рукаве Орион, расстояние до ближайшей звезды Проксима Центавра 4,21 - 4,34 световых лет, вращается вокруг галактического центра, расположенного на расстоянии 27 170 +/- 1140 световых лет с орбитальной скоростью 220 – 240 км/с, период обращения составляет 225 – 250 миллионов лет [1]. В этом же источнике в разделе: «Галактическая орбита» Солнце перемещается вокруг галактического центра со скоростью 254 км/с (уточнение 2009 г.) [1].

Проведённые новые измерения значительно изменяют эти параметры [2].

В соответствии с новыми данными Солнечная система оказалась ближе почти на 2 000 световых лет, а скорость Солнечной системы составляет 227 км /с [2].

Две тысячи световых лет, расстояние огромное даже по космическим меркам, и период обращения вокруг галактического центра остаётся огромным, предсказать какие нас ждут изменения на этом пути, не представляется возможным.

И вместе с этим на Земле существует масса фактов в том, что периодически повторяются малые ледниковые периоды, отложения меловых слоёв, кольцевые образования на ракушках и другие факты говорят о том, что Солнечная система имеет первоначальный центр вращения, расположенный значительно ближе, галактического центра.

В галактике Млечный путь найдено более тысячи чёрных дыр, а так же найдены звёздные скопления. Ближайшая чёрная дыра располагается от Солнечной системы на расстоянии около 1000 св. лет [3].

Имея новые основания для расчётов, определяем на каком расстоянии, находится центр вращения Солнечной системы.

**Актуальность** этой работы исходит из того, что накопились новые факты, которые свидетельствуют о возможном новом центре вращения Солнечной системы.

**Цели и задачи.** Используя математический аппарат и вновь обнаруженные факты, находим центр вращения Солнечной системы.

**Научная новизна** работы заключается в том, на основе вновь обнаруженных фактов и новых космических открытий, находим центр, вокруг которого вращается Солнечная система, а этот факт значительно изменяет период вращения Солнечной системы.

Изменение периода вращения Солнечной системы можно сравнить с археологическими находками в периодическом изменении климата на Земле.

В соответствии с работами: [4]; [5]; [6]; [7]; [8], находим ускорение Солнца на орбите:

$$Ma(1) = ma(2)$$

$$Ma(1) = F(3)$$

$$a(1) = F(3) / M$$

$$\text{Масса Земли: } 5,9726 * 10^{24} \text{ кг}$$

$$\text{Ускорение: } a(2) = 5,9416 * 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

$$F(3) = 5,9726 * 10^{24} \text{ кг} * 5,9416 * 10^{-3} \text{ м/с}^2 = 35,48680016 \text{ Н}$$

$$a(1) = 35,48680016 * 10^{21} \text{ Н} / 1,9885 * 10^{30} \text{ кг} = 17,84601466431984 * 10^{-9} \text{ м/с}^2$$

$$a(1) = 1,7846015 * 10^{-8} \text{ м/с}^2$$

В соответствии с источником [2] скорость Солнца на орбите составляет 227 км.

Определим радиус, по которому перемещается Солнце:

$$a(1) = V^2 / R$$

$$R = V^2 / a(1)$$

$$R = (227 * 10^3 \text{ м/с})^2 / 1,7846015 * 10^{-8} \text{ м/с}^2 = 28874,23326720279 * 10^{14} \text{ м}$$



$$R = 28,8742 * 10^{17} \text{ м}$$

Один световой год составляет  $9,46 * 10^{15} \text{ м}$

Находим, сколько световых лет отделяет Солнце от центра, вокруг которого вращается Солнечная система:

$$28,8742 * 10^{17} \text{ м} / 9,46 * 10^{15} \text{ м} = 3,052241014799154 * 10^2 \text{ св. лет}$$

Расстояние в световых годах:

$$R = 305,224 \text{ св.лет}$$

Получается, что Солнечная система вращается вокруг центра, который находится на расстоянии 305 св. лет, это много, но это совсем не 25 800 св. лет [2].

Находим длину орбиты Солнечной системы:

$$L = 2\pi R$$

$$R = 28,8742 * 10^{17} \text{ м}$$

$$L = 6,28 * 28,8742 * 10^{17} \text{ м} = 181,329976 * 10^{17} \text{ м}$$

Находим период вращения Солнечной системы по найденной орбите:

В году 31 536 000 сек.

Находим, какое расстояние пролетит по орбите Солнечная система за один год:

$$l = 2,27 * 10^5 \text{ м/с} * 3,1536 * 10^7 \text{ с} = 7,158672 * 10^{12} \text{ м}$$

$$T = L / l = 181,329976 * 10^{17} \text{ м} / 7,158672 * 10^{12} \text{ м} = 25,33011374176663 * 10^5 \text{ лет}$$

$$T = 2,533 * 10^6 \text{ лет}$$

**Заключение.** На основании открывшейся тайны закона всемирного тяготения и скрытых параметров гравитационной постоянной, определено ускорение Солнца на орбите. Из справочных источников есть данные о скорости перемещения Солнечной системы на просторах галактики. Используя эти факторы и зависимость скорости перемещения и ускорения, определили радиус вращения Солнечной системы.

Образование чётко выраженных рукавов галактики свидетельствует о наличии вращения в них звёзд, и звёздных скоплений.

При скорости перемещения на орбите Солнечной системы 254 км/с, радиус вращения будет равен:

$$R = (254 * 10^3 \text{ м/с})^2 / 1,7846015 * 10^{-8} \text{ м/с}^2 = 36151,48816136263 * 10^{14} \text{ м}$$

$$R = 36, 1515 * 10^{17} \text{ м}$$

В пределах проведённых расчётов, где радиус вращения Солнечной системы составляет:

$R = 28, 8742 * 10^{17} \text{ м} - 36, 1515 * 10^{17} \text{ м}$ , надо искать чёрную дыру, квазар или звёздное скопление.

**Выводы.** Определён радиус, по которому вращается Солнечная система. На этом радиусе должны обнаружиться звёздные скопления или чёрная дыра. Получен новый период вращения Солнечной системы, который можно сравнить с археологическими находками. Появилась возможность предсказания климатических изменений на более близкие периоды.

#### Литература:

1. Солнечная система – Википедия /электронный ресурс/  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_система](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_система) Дата посещения: 25.02.2021 г.
2. Хабр. maybe\_elf 30 ноября 2020 г. На новой галактической карте Земля оказалась на 2 тысячи световых лет ближе к центру Млечного Пути  
<https://habr.com/ru/news/t/530592/> Дата посещения: 21.02.2021 г.
3. Список ближайших чёрных дыр – Википедия.  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_ближайших\\_чёрных\\_дыр](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_ближайших_чёрных_дыр) Дата посещения: 25.02.2021 г.
4. Дудин А.Т. Гравитационная постоянная сегодня и завтра. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1610431425> (дата размещения: 20.01.2021г).
5. Дудин А.Т. Открытие закономерностей в космологических параметрах Солнечной системы. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1611511241> (дата размещения: 30.01.2021).
6. Дудин А.Т. Выявлены закономерности в космологических параметрах. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1612288636> (дата размещения: 03.02.2021).
7. Дудин А.Т. Тайна закона всемирного тяготения. <https://sci-article.ru/stat.php?i=1613732883> (дата размещения: 19.02.2021).
8. Дудин А.Т. Скрытые параметры константы G.  
<http://www.newtheory.ru/astromy/skritie-parametri-konstanti-g-t6139.html> (дата размещения: 15.02.2021).

# ФИЗИКА, ХИМИЯ

## РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ АТОМА И МАЛЫХ КЛАСТЕРОВ УГЛЕРОДА

**Голубев Владимир Константинович**

Кандидат физико-математических наук, доцент  
Нижний Новгород; Университет Людвига-Максимилиана, Мюнхен  
Независимый эксперт; приглашенный ученый

**Ключевые слова:** атом углерода; кластер; реакция атомизации; энтальпия образования; композитный метод

**Keywords:** carbon atom; cluster; atomization reaction; enthalpy of formation; composite method

**Аннотация:** Приведены результаты расчетного определения энтальпии образования атома углерода и его малых кластеров: димера, тримера, тетрамера и пентамера. В расчетах использовались композитные методы серий CBS, Gn, W1, задействованные в программе Gaussian 09. Для сопоставления аналогичные расчеты проводились также с использованием методов теории функционала плотности (DFT). Получение расчетных результатов проводилось при рассмотрении реакций атомизации соответствующих кластеров. В качестве основных экспериментальных данных использовались результаты, приведенные в базе данных NIST. Как и ожидалось, наиболее точные и стабильные результаты показывают все высокоточные методы серии W1, а именно W1U, W1BD и W1RO. Их использование позволило провести коррекцию полученных ранее результатов по энтальпии образования тетрамера и пентамера углерода. Для остальных методов, даже таких относительно точных, как CBS-APNO и G4, зачастую необходим дополнительный контроль и корректировка получаемых результатов.

**Abstract:** Results of a calculated determination of the enthalpy of formation of a carbon atom and its small clusters: dimer, trimer, tetramer, and pentamer are presented. Composite methods of the CBS, Gn, W1 series available in the Gaussian 09 program were used in the calculations. For comparison, similar calculations were also performed using the density functional theory (DFT) methods. The calculation results were obtained when considering the reactions of atomization of the corresponding clusters. The results presented in the NIST database were used as the basic experimental data. As expected, all high-precision methods of the W1 series, namely W1U, W1BD and W1RO, show the most accurate and stable results. Their use made it possible to correct the previously obtained results on the enthalpy of formation of the carbon tetramer and pentamer. For other methods, even those relatively accurate as CBS-APNO and G4, additional control and correction of the results obtained is often required.

**УДК 544.18:544.277.6:546.26**

### **Введение и состояние вопроса**

Свойства малых кластеров углерода изучаются экспериментально и теоретически уже довольно давно и весьма основательно. Регулярно, примерно раз в десять лет,

выпускаются итоговые обзоры [1-3], в которых можно ознакомиться с относительно новыми, полученными за последнее десятилетие результатами и узнать о перечне новых поставленных в этой области исследований задач.

Энтальпии образования атома углерода и его малых кластеров  $C_n$ , вплоть до значений  $n = 5$ , получены уже довольно давно с использованием экспериментальных методов и последующей расчетной обработки получаемых результатов и приведены в фундаментальной базе данных NIST [4]. К настоящему времени достигнут значительный прогресс в методах квантово-химических расчетов и некоторые из этих методов уже имеют точность, сопоставимую или даже в некоторых случаях превышающую точность отдельных экспериментальных методов. Основной задачей работы и было получение такого рода расчетных квантово-химических данных по энтальпии образования указанных объектов и их сопоставление с ранее полученными экспериментальными данными.

Обратимся, прежде всего, к экспериментальным результатам, приведенным в базе данных NIST. Здесь для атома углерода приводятся два значения  $716.68 \pm 0.45$  и  $716.67$  кДж/моль со ссылками на источники [5] 1989 года выпуска и [6] 1998 года выпуска, но с пометой о том, что последний раз данные проверялись в марте 1983 года. Как выяснилось при рассмотрении источников, оба значения относятся к одним и тем же данным. Приведенные для указанных кластеров экспериментальные результаты все относятся к указанным в работе [6] данным с пометами, что все они последний раз проверялись в декабре 1969 года. Приведенные в базе данных [4] для кластеров диуглерода, триуглерода, тетрауглерода и пентауглерода значения энтальпии образования составляют соответственно 837.74, 820.06, 970.69 и 979.06 кДж/моль без какого-либо указания на их точность. В то же время в работе [6] для всех указанных значений энтальпии образования приводятся реальные значения погрешности их определения. В базе данных [4] указано также, что структура кластера  $C_4$  является циклической, а остальные кластеры имеют линейную структуру.

Со времени получения указанных экспериментальных данных по энтальпии образования указанных структур было выполнено большое число научных работ, в которых было получено очень большое количество новой, прежде всего расчетной информации по различным свойствам этих кластеров. Упомянем несколько работ этого плана, чтобы было понятно, на каком этапе мы подключились к этой работе. Отметим, что основной интересующей нас характеристикой является по возможности достаточно точное значение энтальпии образования.

Так, в работе [7] *abinitio* расчеты методом Хартри-Фока (HF) использовались для изучения структуры и энергетики малых углеродных кластеров ( $C_n$ ,  $n = 2-10$ ). Эффекты поляризационных функций и электронной корреляции были включены в эти расчеты, использующие стандартный базисный набор 6-31G\*. Для структур с открытыми электронными оболочками использовалась неограниченная по спину версия теории Хартри-Фока (UHF). Несколько возможных геометрических форм, включая линейные, циклические и даже простые трехмерные, были рассмотрены для кластеров. Такой же набор малых, но только линейных углеродных кластеров ( $C_n$ ,  $n = 2-10$ ) рассматривался в работе [8]. Приведены результаты расчетов структур и энергетики образования линейных углеродных кластеров, а также их моноанионов и дианионов. Различные электронные состояния рассматривались с использованием методов теории самосогласованного поля (SCF), теории возмущения многих тел, а

также метода теории связанных кластеров, учитывающего трехкратные возбуждения CCSD(T). Используемые базисные наборы содержали поляризационные и диффузные функции. Структурные и энергетические характеристики кластеров  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_9$  рассчитывались в работе [9] с использованием метода теории функционала плотности и целого ряда различных базисных наборов. В случае кластера  $C_2$  результаты сравнивались с известными экспериментальными значениями. В работе [10] изучались кластеры  $C_3$  и  $C_4$ . Для расчетов использовались методы теории функционала плотности и теории связанных кластеров CCSD(T) с большими базисными наборами. В итоге были получены результаты по структуре, энергетике, энтальпии образования и другим свойствам рассмотренных кластеров. Отмечалось, что рассчитанные свойства в основном приемлемо согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

Кластер триуглерода  $C_3$  и его катион  $C_3^+$  исследовались в работе [11] с использованием методов связанных кластеров и больших базисов. Было показано, что получаемые результаты особенно чувствительны к уровню электронной корреляции. В результате выполненных расчетов для кластера  $C_3$  были получены значения энтальпии образования при 298.15 К, вертикального и адиабатического потенциалов ионизации. Они составили  $194.9 \pm 2$  ккал/моль,  $11.92 \pm 0.1$  эВ и  $11.84 \pm 0.1$  эВ соответственно.

Наиболее низкие энергетические состояния кластера тетрауглерода  $C_4$  были изучены в работе [12] с использованием базисных наборов, включающих  $f$ -функции, метода квадратичного конфигурационного взаимодействия и полной теории возмущений Мёллера-Плессета четвертого порядка с множественной проекцией спинов. Проблема недостаточности базисов решалась расширением поляризационного пространства. На самом высоком уровне рассматриваемой теории циклическая структура находилась примерно на 1 ккал/моль ниже линейной структуры. Сделанная оценка с использованием метода G1 дала для ее энтальпии образования при температуре 0 К значение 249.6 ккал/моль. Это значение не соответствует общепринятым экспериментальным значениям, но хорошо согласуется со значением поправки с учетом третьего закона термодинамики, скорректированной для улучшенной функции распределения. В работе [13] метод G1 также использовался для определения энтальпии образования кластера пентауглерода  $C_5$ . Сделанная таким образом оценка с использованием метода G1 дала для энтальпии образования этого кластера при температуре 0 К значение 251.7 ккал/моль. Отмечается, что метод G1 дает погрешность  $\pm 2$  ккал/моль, однако авторы работы указывают, что для такой несколько проблематичной молекулы, как  $C_5$ , погрешность  $\pm 4$  ккал/моль является более уместной. С учетом поправки на третий закон расчетная энтальпия образования  $C_5$  снижается до значения  $240.5 \pm 5.8$  ккал/моль.

Метод высокотемпературной эффузионной масс-спектрометрии Кнудсена был использован в работе [14] для измерения равновесных парциальных давлений кластеров  $C_1$ - $C_7$  над чистым графитом. Эти данные были объединены с новыми тепловыми функциями, которые были рассчитаны на основе последних спектроскопических и теоретических данных, и использованы при оценке энтальпий образования для кластеров  $C_2$ - $C_5$ . Было указано, что при температурах проводимых измерений вклад линейной структуры для кластера  $C_4$  в общий объем пара был более значительным, поэтому для оценок использовалась эта структура. Следующие энтальпии образования  $\Delta_f H(C_n, g, 0)$  и энтальпии атомизации  $\Delta_a H(C_n, g, 0)$  в

кДж/моль были получены на основе метода с использованием третьего закона:  $C_2$ ,  $817 \pm 8$  и  $605 \pm 8$ ;  $C_3$ ,  $831 \pm 13$  и  $1303 \pm 13$ ;  $C_4$ ,  $1052 \pm 16$  и  $1793 \pm 17$ ;  $C_5$ ,  $1081 \pm 6$  и  $2475 \pm 17$ . Было отмечено, что энтальпии образования для  $C_4$  и  $C_5$  выше, чем считалось ранее. Они достаточно хорошо согласуются с недавними теоретическими предсказаниями. Следует отметить, что подобные качественные экспериментальные данные получены этими авторами также для кластеров  $C_6$  [15] и  $C_7$  [16].

В настоящее время в связи с постоянным развитием вычислительных возможностей компьютерной техники все более широкое распространение при проведении квантово-химических расчетов повышенной точности получают довольно затратные, но более точные композитные методы расчета [17]. Так, под химической точностью обычно понимают точность в расчете энергии порядка одной килокалории на моль (около 4 кДж/моль). Практика показывает, что подобная точность достигается уже при использовании метода связанных кластеров уровня CCSD(T) и достаточно широкого базисного набора. Что же касается наиболее популярных в настоящее время методов теории функционала плотности (DFT), то они применимы только для расчетов геометрической структуры основных состояний молекул, тогда как при расчетах термодинамических величин их погрешность становится весьма значительной и составляет, мягко говоря, несколько ккал/моль. Расчеты же высокого уровня точности в идеале должны давать значения энергии с точностью порядка 0.1 ккал/моль (то есть лучше 0.5 кДж/моль). Эта точность может быть достигнута только при учете большого числа факторов, которые в большинстве своем и были приняты во внимание в разработанных для подобных расчетов наиболее продвинутых композитных методах.

К настоящему времени разработан целый ряд таких композитных методов, обладающих от умеренной до сверхвысокой точностью. Укажем только методы, задействованные в использованном в данной работе программном комплексе Gaussian 09 [18]. Эти методы оформлены в виде замкнутых процедур, запуск которых осуществляется с помощью соответствующих ключевых слов, приведенных в списке Gaussian Keywords [19]. Каждая из используемых серий, CBS Methods, Gn Methods и W1 Methods, включает по несколько методов, различающихся своим составом и возможностями. К CBS (полный базисный набор) методам относятся такие, последовательно увеличивающие свою точность методы, как CBS-4M, CBS-QB3 и CBS-APNO. Для Gn методов это соответственно методы G1, G2, G3 и G4. В случае W1 [20] приведенные методы W1U, W1BD и W1RO имеют каждый свои определенные особенности, но не отличаются существенно по своим возможностям и получаемой высокой точности. На основании выполненного в работе [21] сопоставления результатов расчетов с 220 экспериментальными результатами из тестового набора G2/97 были получены среднеквадратичные отклонения результатов для каждого из методов, входящих в серию W1. Для метода W1U это отклонение составило  $0.65 \pm 0.48$  ккал/моль, для метода W1BD –  $0.62 \pm 0.48$  ккал/моль и для метода W1RO –  $0.57 \pm 0.48$  ккал/моль. В работе было отмечено, что возможности этих методов практически неразличимы.

Наряду с точностью и надежностью, композитные методы характеризуются также их серьезной ресурсной затратностью (computational cost). Это необходимо учитывать при выборе метода расчета, поскольку выбор метода дающего даже не очень значительное увеличение точности может привести к весьма значительному увеличению времени расчета. Так в работе [22] при использовании в однотипных расчетах разных методов было получено, что при рассмотрении в качестве

исходного метода CBS-QB3 последующие методы G3, G4 и W1BD увеличивают время расчета соответственно в 8, 24 и 672 раза.

В кратко рассмотренных работах по определению энтальпии образования указанных малых кластеров углерода проявляется некоторая неопределенность получаемых расчетных значений, а приведенные в базе данных NIST экспериментальные значения были получены во времена, когда разработанные сейчас точные методы квантово-химических расчетов не существовали и в помине. В связи с этим представилось целесообразным проверить возможности наиболее точных композитных методов серии W1 в определении энтальпии образования атома и малых кластеров углерода. Кроме того, представилось также возможным провести на этих задачах сопоставительный анализ результатов, полученных при использовании менее точных, по сравнению с W1, композитных методов серий CBS и G<sub>n</sub>. Подход к решению поставленных таким образом задач полностью соответствует подходу, принятому ранее в предыдущей работе этого направления [23].

### **Результаты расчетов и обсуждение**

Как уже указывалось ранее, все выполненные в работе расчеты проводились с использованием программного комплекса квантово-химических расчетов Gaussian 09 [18]. Предварительные или сопоставительные расчеты геометрических и энергетических характеристик, как правило, менее точные по сравнению с композитными методами, проводились с использованием методов теории функционала плотности, таких как B3LYP/6-31+G(d) и 6-311+G(2d). Для более точных основных расчетов использовались несколько композитных методов, таких как CBS-4M, CBS-QB3, CBS-APNO, G3, G4, W1U, W1BD и W1RO. Все полученные результаты расчетов соответствуют стандартным условиям для окружающей среды, которые характеризуются температурой 298.15 К и давлением 1.00 атм. Отметим также, что при использовании разных единиц измерения энергии одной атомной единицы Хартри (Hartree) соответствует 2625.50 кДж/моль или 627.51 ккал/моль.

Как уже отмечалось в выполненном во введении кратком обзоре, все рассматриваемые кластеры, за исключением кластера C<sub>4</sub>, имеют линейную структуру. Кластер C<sub>4</sub> имеет циклическую структуру, однако выяснено это было далеко не сразу, а только при использовании высокоточных методов квантово-химических расчетов. Вопрос этот методически важный и интересный, поэтому заслуживает отдельного короткого рассмотрения. Детальное рассмотрение изомеров этого кластера проводилось в работе [24], однако мы остановимся только на кратком сопоставительном анализе энергетики двух основных изомеров, линейного и циклического, при использовании различных методов расчета.

Внешний вид обоих кластеров показан на рис. 1, а результаты расчетов его некоторых геометрических и энергетических характеристик представлены в табл. 1, 2. В качестве геометрических характеристик приведены длины связей между атомами углерода  $L_b$ , а в качестве энергетических характеристик указаны энергии  $E^\circ$  и энтальпии  $H^\circ$ , рассчитанные для стандартных условий. Наблюдаемые в таблицах пробелы в результатах для циклического кластера C<sub>4</sub> при использовании методов CBS-APNO и G3 обусловлены сбоем расчетов на одной из стадий комплексного процесса. Эта ошибка связана со сложностью в данном случае внутренней координатной системы и может быть в случае обычного расчета исправлена путем перехода к картезианским координатам и снятию условий симметрии. Однако

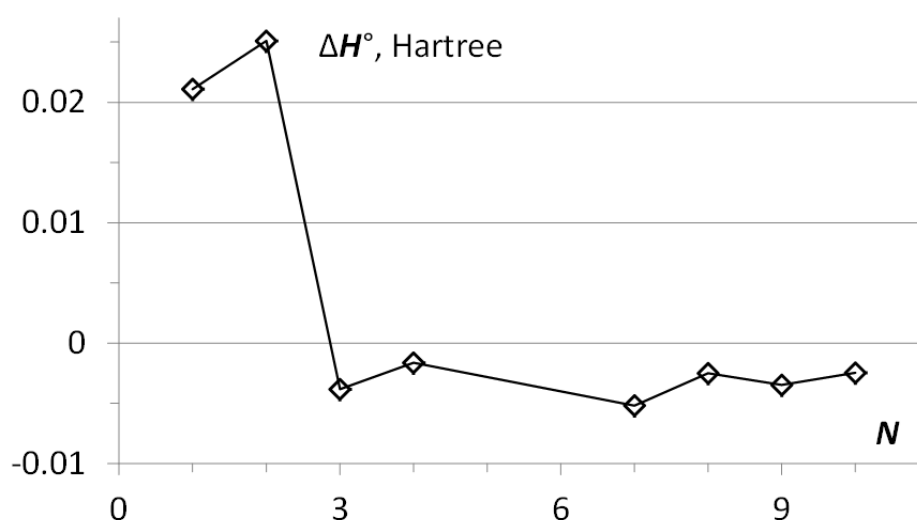




**Табл. 2. Энергии и энтальпии для линейного и циклического кластеров  $C_4$ , рассчитанные для стандартных условий**

№	Cluster $C_4$ Characteristic Method	Linear		Cyclic	
		$E^\circ$	$H^\circ$	$E^\circ$	$H^\circ$
				Hartree	
1	6-31+G(d)	-152.086064	-152.085120	-152.064974	-152.064030
2	6-311+G(2d)	-152.118078	-152.117133	-152.092979	-152.092035
3	CBS-4M	-151.833247	-151.832303	-151.837078	-151.836134
4	CBS-QB3	-151.817398	-151.816454	-151.819038	-151.818094
5	CBS-APNO	-152.046303	-152.045359	~	~
6	G3	-151.991226	-151.990282	~	~
7	G4	-152.015803	-152.014858	-152.020994	-152.020050
8	W1U	-152.090708	-152.089763	-152.093211	-152.092267
9	W1BD	-152.089594	-152.088650	-152.093073	-152.092129
10	W1RO	-152.090744	-152.089800	-152.093211	-152.092267

Для наглядности результаты по значениям энтальпий циклического и линейного кластеров  $C_4$  при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов расчета показаны на рис. 2. Нумерация методов на рисунке соответствует их нумерации во всех приведенных в работе таблицах. Подобная нумерация будет использована и на всех последующих рисунках. Сразу же видно, что для результатов, полученных с использованием метода теории функционала плотности, энтальпия, как, впрочем, и энергия, циклического кластера превышает таковую для кластера линейного. Следовательно, структура линейного кластера является в этом случае более устойчивой. Для результатов, полученных с использованием более точных композитных методов, наблюдается противоположная картина. Этим и объясняются бытовавшие ранее, до внедрения высокоточных методов квантово-химических расчетов, противоречия.



**Рис. 2. Разности энтальпий циклического и линейного кластеров  $C_4$  при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов.**

Последующие расчеты, связанные с определением энтальпии образования атома углерода и его малых кластеров, проводились с использованием реакции

атомизации. Общее выражение этой реакции для кластера из  $n$  атомов углерода  $C_n$  имеет вид

$$\Delta_f H^\circ(C_n) - n\Delta_f H^\circ(C) = H^\circ(C_n) - nH^\circ(C),$$

где  $H^\circ$  - энтальпия атома или кластера углерода, а  $\Delta_f H^\circ$  - энтальпия образования атома или кластера углерода. Энтальпии атома и кластеров углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием всех рассмотренных методов, приведены в табл. 3. На основании всех рассмотренных в сделанном обзоре результатов и некоторых других опубликованных данных будем считать, что значение энтальпии образования атома углерода, приведенное в базе данных NIST [4],  $716.68 \pm 0.45$  кДж/моль является достаточно точным, и примем его за эталон точности для выполняемых расчетов.

**Табл. 3. Энтальпии атома и кластеров углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов**

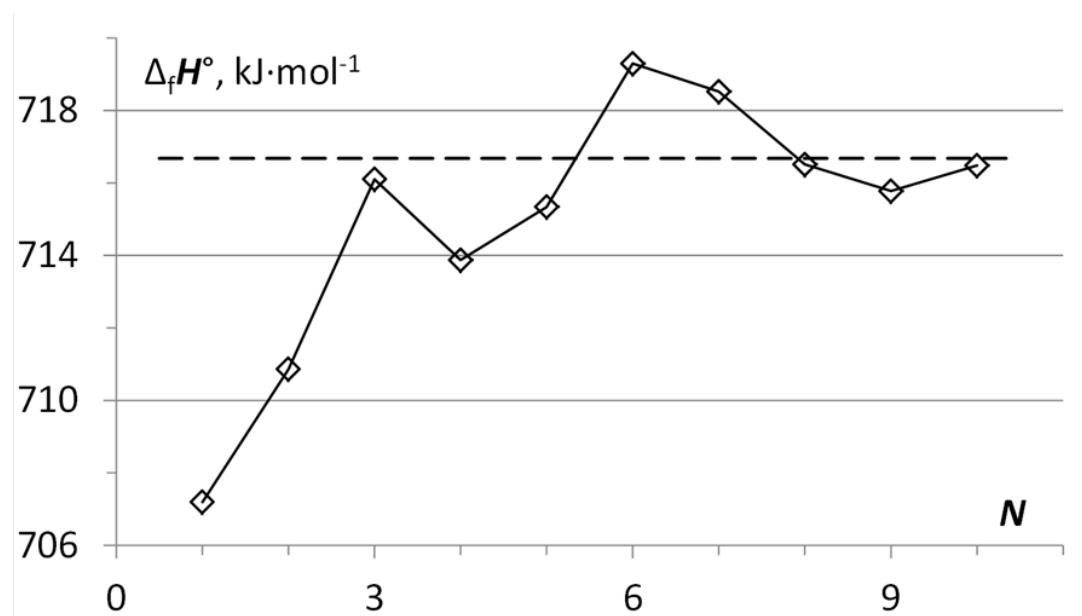
№	Atom, cluster Method	C	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>			C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
				H°, Hartree				
1	6-31+G(d)	-37.848974	-75.917584	-114.042823	-152.064030	-190.192000		
2	6-311+G(2d)	-37.855080	-75.932589	-114.066061	-152.092035	-190.233389		
3	CBS-4M	-37.786156	-75.798734	-113.855678	-151.836134	-189.876679		
4	CBS-QB3	-37.783017	-75.790755	-113.852087	-151.818094	-189.868101		
5	CBS-APNO	-37.839712	-75.905262	-114.023412	~	-190.155703		
6	G3	-37.825356	-75.879563	-114.003976	~	-190.088372		
7	G4	-37.831808	-75.891879	-114.003031	-152.020050	-190.118362		
8	W1U	-37.850571	-75.927874	-114.056481	-152.092267	-190.209166		
9	W1BD	-37.850525	-75.927222	-114.056064	-152.092129	-190.208587		
10	W1RO	-37.850539	-75.927786	-114.056481	-152.092267	-190.209166		

С целью выполнения условий некоторого своего рода самосогласования и определенной перестраховки от возможных расчетных ошибок проведем две серии расчетов. В первой серии будем задаваться приведенными в базе данных NIST значениями энтальпии образования кластеров, определять по ним значения энтальпии образования атомов углерода и сопоставлять их со значением, принятым нами за эталонное. В результате сразу же должно стать более или менее ясно, какие из приведенных в базе данных NIST значения чего стоят в плане их точности. Однако для уточнения этих результатов и дополнительного подтверждения их достоверности проведем еще одну серию расчетов. В этой серии будем задаваться полученными с использованием расчетов на основе методов W1 значениями энтальпии образования кластеров, определять по ним значения энтальпии образования атомов углерода и также сопоставлять их со значением, принятым за эталонное. Таким образом, из этих расчетов будут определены наиболее точные расчетные значения энтальпии образования всех кластеров, а также погрешности определения этих значений при использовании для расчетов менее точных, по сравнению с методами W1, композитных методов.

Итак, результаты расчетов первой серии представлены в табл. 4 и показаны для наглядности и сопоставительного анализа на рис. 3-6. Штриховой линией на рисунках отмечено принятое в качестве эталонного экспериментальное значение энтальпии образования атома углерода [4], равное 716.68 кДж/моль.

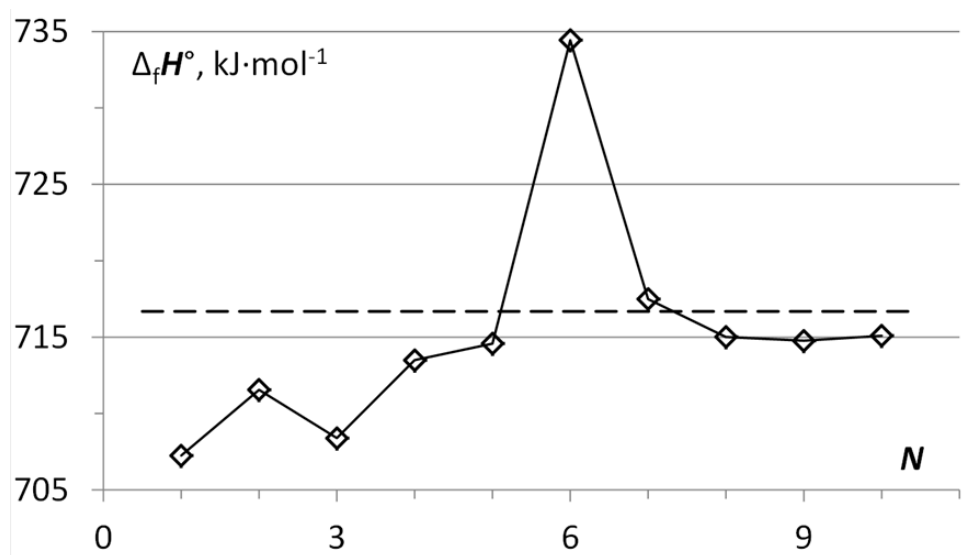
**Табл. 4. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании экспериментальных значений [4] энтальпии образования рассмотренных кластеров**

№	Cluster Method	$\Delta_f H^\circ, \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$			
		$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
1	6-31+G(d)	707.197	707.249	681.219	693.150
2	6-311+G(2d)	710.864	711.555	683.569	698.852
3	CBS-4M	716.105	708.394	696.562	692.504
4	CBS-QB3	713.872	713.493	692.963	696.241
5	CBS-APNO	715.339	714.578	~	698.408
6	G3	719.294	734.434	~	700.744
7	G4	718.522	717.494	697.421	699.552
8	W1U	716.512	715.009	695.560	697.971
9	W1BD	715.777	714.765	695.590	697.788
10	W1RO	716.481	715.093	695.644	698.054

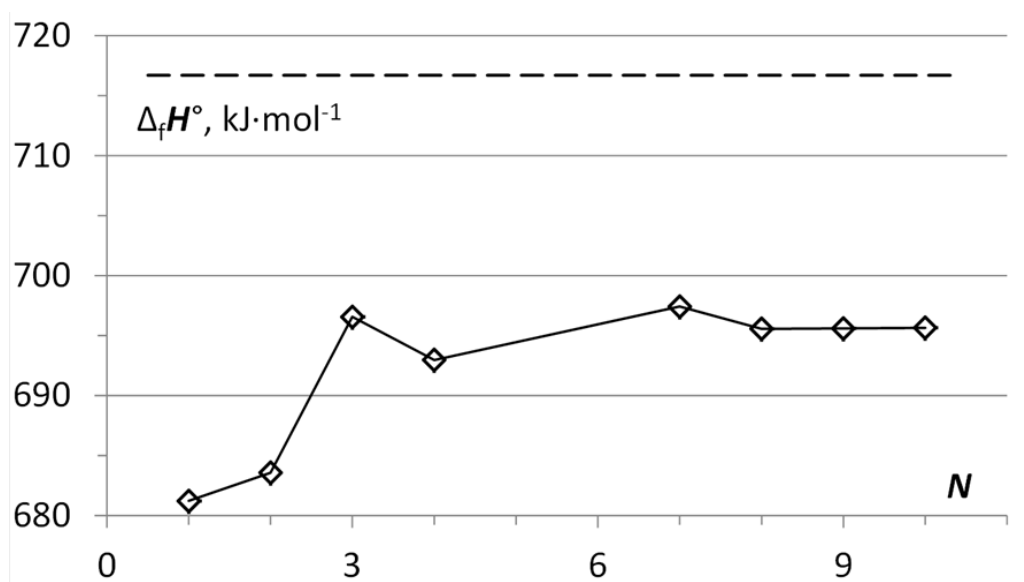


**Рис. 3. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании экспериментального значения [4] энтальпии образования для кластера  $C_2$ .**

Приведенные на рис. 3 результаты для методов W1 указывают на хорошую согласованность значений энтальпии образования для атома углерода и кластера  $C_2$ . Также достаточно хорошая согласованность наблюдается и для кластера  $C_3$  на рис. 4. Стабильно хорошие результаты в этих случаях дают также расчетные композитные методы CBS-APNO и G4.

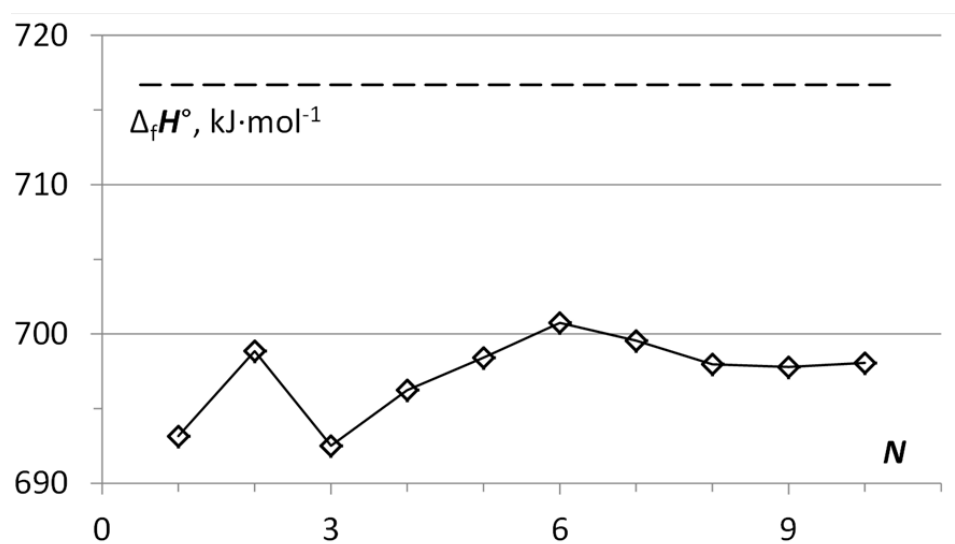


**Рис. 4.** Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании экспериментального значения [4] энтальпии образования для кластера C<sub>3</sub>.



**Рис. 5.** Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании экспериментального значения [4] энтальпии образования для кластера C<sub>4</sub>.

Совершенно полное рассогласование для всех расчетных методов, в том числе и методов W1, дают приведенные на рис. 5, 6 результаты для атома углерода и кластеров C<sub>4</sub> и C<sub>5</sub>. Тут уже в принципе не может стоять вопрос о реальной точности приведенных в базе данных NIST [4] значений их энтальпии образования.



**Рис. 6. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании экспериментального значения [4] энтальпии образования для кластера  $C_5$ .**

Результаты расчетов второй серии представлены в табл. 5 и показаны для наглядности и сопоставительного анализа на рис. 7-10. Штриховой линией на этих рисунках, как и на предшествующих, отмечено принятое в качестве эталонного экспериментальное значение энтальпии образования атома углерода [4], равное 716.68 кДж/моль. Используемые расчетные значения энтальпии образования кластеров диуглерода, триуглерода, тетрауглерода и пентауглерода при использовании методов W1 составляли соответственно 838.10, 824.76, 1054.76 и 1072.09 кДж/моль.

**Табл. 5. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании расчетных значений энтальпии образования рассмотренных кластеров**

№	Cluster Method	$\Delta_f H^\circ$ , kJ·mol <sup>-1</sup>			
		$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
1	6-31+G(d)	707.377	708.816	702.236	711.756
2	6-311+G(2d)	711.043	713.122	704.587	717.458
3	CBS-4M	716.285	709.962	717.580	711.110
4	CBS-QB3	714.052	715.060	713.980	714.847
5	CBS-APNO	715.519	716.145	~	717.014
6	G3	719.474	736.000	~	719.350
7	G4	718.702	719.061	718.438	718.158
8	W1U	716.692	716.576	716.578	716.577
9	W1BD	715.957	716.332	716.608	716.394
10	W1RO	716.661	716.600	716.662	716.661

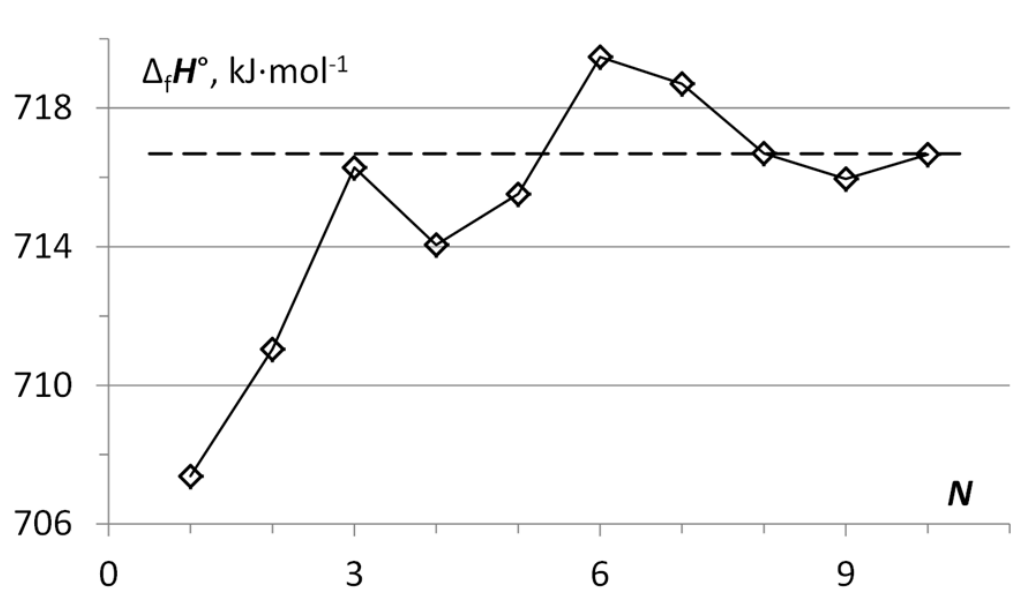


Рис. 7. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании расчетного значения энтальпии образования для кластера  $C_2$ .

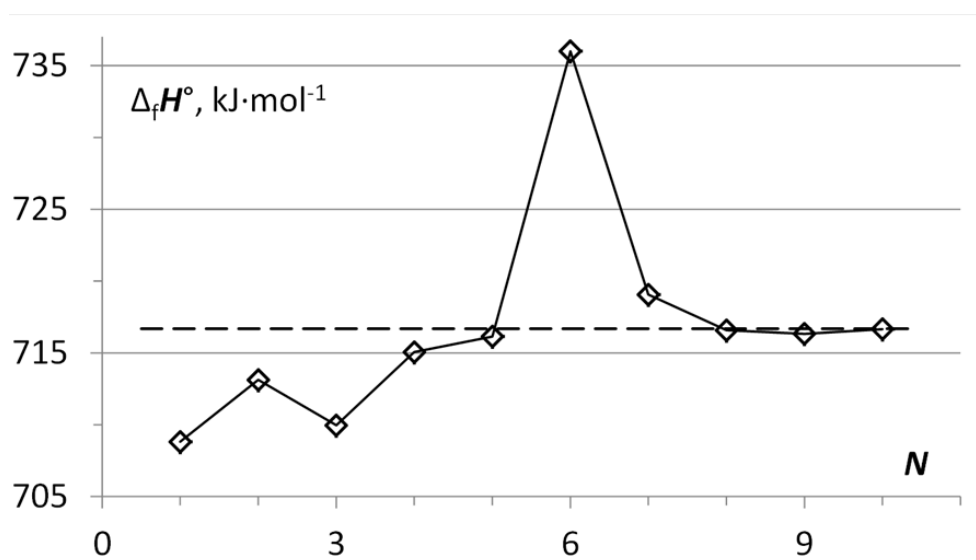
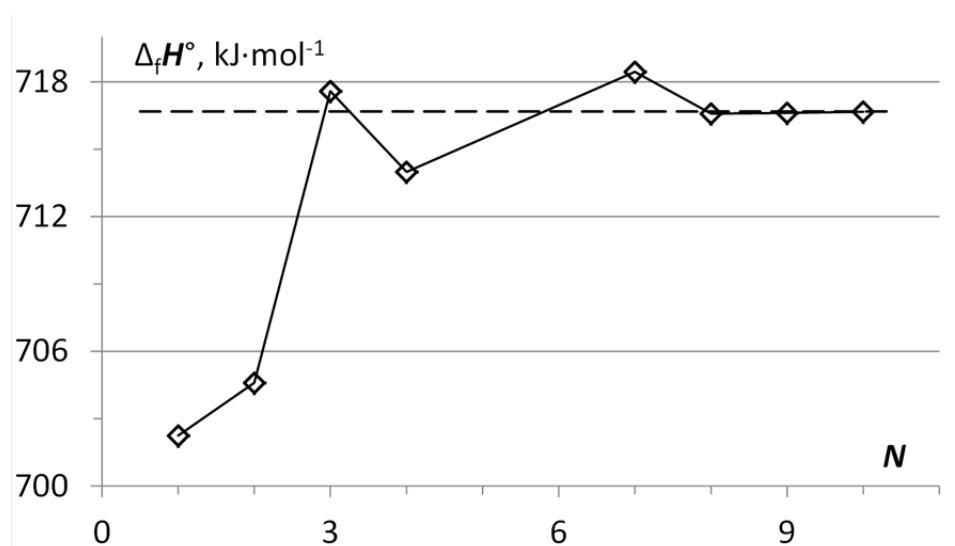
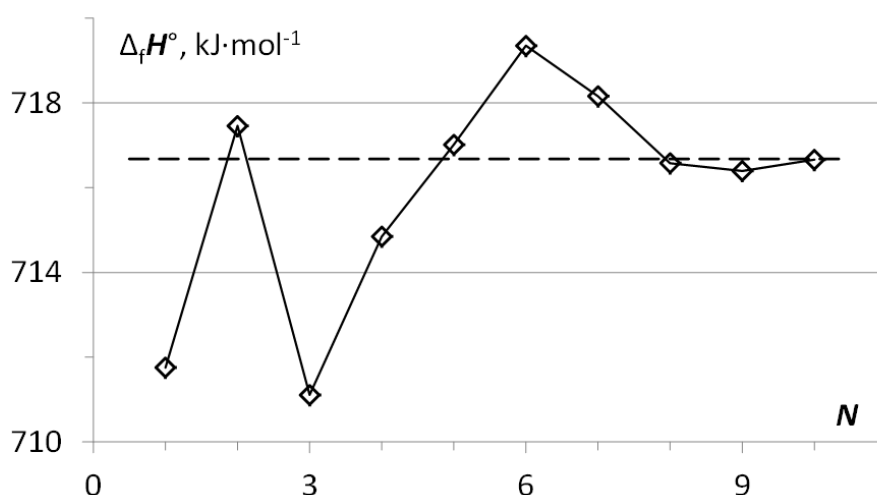


Рис. 8. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании расчетного значения энтальпии образования для кластера  $C_3$ .



**Рис. 9. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании расчетного значения энтальпии образования для кластера  $C_4$ .**



**Рис. 10. Энтальпии образования атома углерода при стандартных условиях, рассчитанные с использованием различных методов на основании расчетного значения энтальпии образования для кластера  $C_5$ .**

Полученные таким образом результаты указывают на существенно большую точность и, главное, стабильность методов W1 при определении энтальпии образования рассмотренных малых кластеров углерода по сравнению с другими используемыми композитными методами. Довольно точными и вполне стабильными являются также методы CBS-APNO и G4. В случае расчетов молекул более значительных размеров, когда использование методов W1 становится затруднительным, они могут быть использованы для достаточно точных расчетов энтальпии образования. Что касается методов DFT, то они могут использоваться в этом ключе только для предварительных оценок. В отдельных случаях они могут давать правдоподобные результаты, но характеризуются серьезной нестабильностью, что указывает скорее на случайность подобных совпадений.

На рис. 11 проведено сопоставление экспериментальных результатов из базы данных NIST [4] и рассчитанных с использованием композитных методов W1 значений энтальпии образования рассмотренных кластеров. В результате высокоточных перекрестных расчетов показано, что приведенные в базе данных NIST значения энтальпии образования кластеров углерода  $C_4$  и  $C_5$  существенно занижены и скорее всего не совсем пригодны для использования в качестве справочного материала. В этом плане гораздо более пригодными экспериментальными значениями энтальпии образования для этих кластеров являются результаты, полученные и приведенные в работе [14]. Чтобы поставить окончательную точку в этом вопросе представим все эти результаты в сопоставительной табл. 6. В ней приведем полученные в данной работе расчетные значения энтальпии образования кластеров, экспериментальные значения из работы [14] с указанными там же погрешностями и представленные в базе данных [4] экспериментальные результаты с погрешностями, указанными в термодинамических таблицах [6].

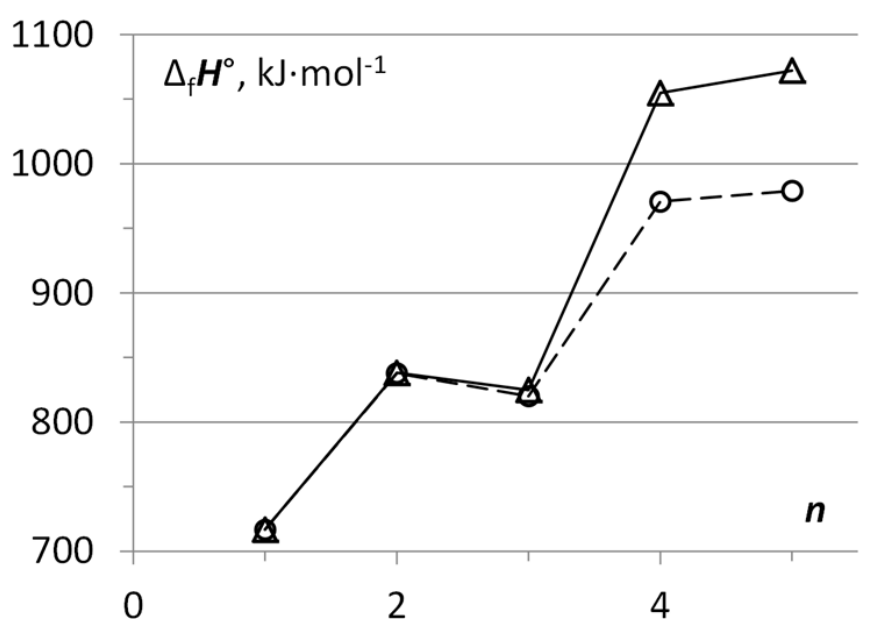


Рис. 11. Энтальпии образования атома и кластеров углерода при стандартных условиях, взятые из базы данных NIST[4] (кружки) и рассчитанные с использованием методов W1 (треугольники).

Табл. 6. Энтальпии образования кластеров углерода при стандартных условиях, полученные на основе расчетов с использованием композитных методов W1 и на основе экспериментов, результаты которых приведены в работах[4] и [14]

Atom, cluster Method	C	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> $\Delta_f H^\circ, \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Calculation, W1	716.66	838.10	824.76	1054.76	1072.09
Experiment [14]	~	817 ± 8	831 ± 13	1052 ± 16	1081 ± 6
Experiment [4]	716.67 ± 0.46	837.7 ± 3.8	820 ± 17	971 ± 33	979 ± 25



### Заключение

На основании выполненных расчетов и приведенных в работе результатов можно сделать вывод, что представленные в базе данных NIST значения энтальпии образования кластеров углерода  $C_4$  и  $C_5$  являются заниженными и недостаточно надежны в плане их использования в качестве справочного материала. Их расчетное уточнение с использованием высокоточных композитных методов серии W1 представляется вполне обоснованным. Решение подобных задач для более крупных молекул возможно также с использованием несколько менее точных, но достаточно стабильных методов CBS-APNO и G4.

### Литература:

1. Weltner W., Van Zee R.J. Carbon molecules, ions, and clusters // Chem. Rev. – 1989. – Vol. 89, No. 8. – P. 1713-1747.
2. Van Orden A., Saykally R.J. Small carbon clusters: Spectroscopy, structure, and energetics // Chem. Rev. – 1998. – Vol. 98, No. 6. – P. 2313-2358.
3. Parasuk V. Electronic and molecular structures of small- and medium-sized carbon clusters // Spectroscopy, Dynamics and Molecular Theory of Carbon Plasmas and Vapors. Advances in the Understanding of the Most Complex High-Temperature Elemental System / Eds L. Nemes, S. Irle. – Hackensack NJ: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2011. – P. 343-374.
4. NIST Chemistry WebBook: NIST Standard Reference Database Number 69 / Eds. P.J. Linstrom, W.G. Mallard. – Gaithersburg MD: National Institute of Standards and Technology, 2021. URL: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (дата обращения: 10.02.2021).
5. Codata Key Values for Thermodynamics: Final Report of the CODATA Task Group on Key Values for Thermodynamics. Eds J.D. Cox, D.D. Wagman, V.A. Medvedev. – New York: Hemisphere Publ. Corp., 1989. – 272 p.
6. NIST-JANAF Thermochemical Tables. 4th Ed. Part I, Al-Co. Ed. M.W. Chase. – J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph No. 9. – New York: American Institute of Physics and American Chemical Society, 1998. – 1952 p.
7. Raghavachari K., Binkley J.S. Structure, stability, and fragmentation of small carbon clusters // J. Chem. Phys. – 1987. – Vol. 87, Iss. 4. – P. 2191-2197.
8. Watts J.D., Bartlett R.J. A theoretical study of linear carbon cluster monoanions,  $C_n^-$ , and dianions,  $C_n^{2-}$  ( $n=2-10$ ) // J. Chem. Phys. – 1992. – Vol. 97, Iss. 5. – P. 3445-3457.
9. Valdes E.A., Mora P., Castro M., Keller J. Theoretical calculation of carbon clusters // Int. J. Quant. Chem. – 1997. – Vol. 65, Iss. 5. – P. 867-875.  $C_2$ ,  $C_3$
10. Fura A., Tureček F., McLafferty F.W. Small carbon clusters ( $C_n^0$ ,  $C_n^+$ ,  $C_n^-$ ) from acyclic and cyclic precursors. Neutralization – reionization and theory // Int. J. Mass Spectrom. – 2002. – Vol. 217, Iss. 1-3. – P. 81-96.
11. Martin J.M.L., François J.P. On the geometrical structure of the  $C_3^+$  cation – an ab initio study // J. Chem. Phys. – 1990. – Vol. 93, No. 7. – P. 5037-5045.
12. Martin J.M.L., François J.P., Gijbels R. Ab initio study of the structure, infrared spectra, and heat of formation of  $C_4$  // J. Chem. Phys. – 1991. – Vol. 94, Iss. 5. – P. 3753-3761.
13. Martin J.M.L., François J.P., Gijbels R. On the heat of formation of  $C_5$  and higher carbon clusters // J. Chem. Phys. – 1991. – Vol. 95, No. 12. – P. 9420-9421.
14. Gingerich K.A., Finkbeiner H.C., Schmude R.W. Enthalpies of formation of small linear carbon clusters // J. Am. Chem. Soc. – 1994. – Vol. 116, Iss. 9. – P. 3884-3888.
15. Gingerich K.A., Finkbeiner H.C., Schmude R.W. The enthalpy of formation of the  $C_6$  molecule from mass spectrometric equilibrium measurements // Chem. Phys. Lett. – 1993.

– Vol. 207, No. 1. – P. 23-26.

16. Gingerich K.A. The enthalpy of formation of the C7 molecule from mass spectrometric equilibrium measurements // Chem. Phys. Lett. – 1992. – Vol. 196, Nos 3, 4. – P. 245-248.

17. Барановский В.И. Квантово-химические расчеты повышенной точности: учебное пособие. – СПбГУ, 2015. – 89 с. [Электронный ресурс] URL:

[https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/1486/1/Расчеты\\_повышенной.pdf](https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/1486/1/Расчеты_повышенной.pdf) (дата обращения: 10.02.2021).

18. Frisch M.J. Gaussian 09, Revision A.02 / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel, G.E. Scuseria, M.A. Robb, J.R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, B. Mennucci, G.A. Petersson, H. Nakatsuji, M. Caricato, X.Li, H.P. Hratchian, A.F. Izmaylov, J. Bloino, G. Zheng, J.L. Sonnenberg, M. Hada, M. Ehara, K. Toyota, R. Fukuda, J. Hasegawa, M. Ishida, T. Nakajima, Y. Honda, O. Kitao, H. Nakai, T. Vreven, J.A. Montgomery Jr., J.E. Peralta, F. Ogliaro, M. Bearpark, J.J. Heyd, E. Brothers, K.N. Kudin, V.N. Staroverov, R. Kobayashi, J. Normand, K. Raghavachari, A. Rendell, J.C. Burant, S.S. Iyengar, J. Tomasi, M. Cossi, N. Rega, J.M. Millam, M. Klene, J.E. Knox, J.B. Cross, V. Bakken, C. Adamo, J. Jaramillo, R. Gomperts, R. E. Stratmann, O. Yazyev, A. J. Austin, R. Cammi, C. Pomelli, J.W. Ochterski, R.L. Martin, K. Morokuma, V.G. Zakrzewski, G.A. Voth, P. Salvador, J.J. Dannenberg, S. Dapprich, A.D. Daniels, Ö. Farkas, J.B. Foresman, J.V. Ortiz, J. Cioslowski, D.J. Fox – Wallingford CT: Gaussian Inc., 2009.

19. List of Gaussian Keywords: CBS Methods, Gn Methods, W1 Methods [Электронный ресурс] URL: <https://gaussian.com/keywords/> (дата обращения: 10.02.2021).

20. Martin J.M.L., Oliveira G. Towards standard methods for benchmark quality ab initio thermochemistry – W1 and W2 theory // J. Chem. Phys. – 1999. – Vol. 111, Iss. 5. – P. 1843-1856.

21. Barnes E.C. Unrestricted coupled cluster and Brueckner doubles variations of W1 theory / E.C. Barnes, G.A. Petersson, J.A. Montgomery, M.J. Frisch, J.M.L. Martin // J. Chem. Theory Comput. – 2009. – Vol. 5, No. 10. – P. 2687-2693.

22. Somers K.P., Simmie J.M. Benchmarking compound methods (CBS-QB3, CBS-APNO, G3, G4, W1BD) against the active thermochemical tables: formation enthalpies of radicals. – J. Phys. Chem. A. – 2015. – Vol. 119, No. 33. – P. 8922-8933.

23. Голубев В.К. Влияние метода расчета на точность определения энтальпии образования атомов водорода, азота, кислорода, фтора и хрома [Электронный ресурс] // SCI-ARTICLE.RU. – 2020. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1582585113> (дата обращения: 10.02.2021).

24. Massó H. Electronic structure calculations on the C4 cluster / H. Massó, M.L. Senent, P. Rosmus, M. Hochlaf // J. Chem. Phys. – 2006. – Vol. 124, Iss. 23. – P. 234304(8).

# ФИЗИКА

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В ПРЯМЫХ КРУГЛЫХ ШЕРОХОВАТЫХ ТРУБАХ, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЁВ

**Лобанов Игорь Евгеньевич**

доктор технических наук  
Московский авиационный институт  
ведущий научный сотрудник

**Ключевые слова:** аналитический; интенсификация; канал; математический; моделирование; модель; относительный; пограничный слой; схема; теплообмен; труба; турбулентный; турбулизатор; трёхслойный; впадина

**Keywords:** analytical; intensification; channel; mathematical; modeling; model; relative; boundary layer; scheme; heat transfer; pipe; turbulent; turbulator; three-layer; depression

**Аннотация:** Разработан метод теоретических расчётов для гидросопротивления и теплоотдачи для круглой прямой трубы с внутренними шероховатыми поверхностями на базе мультислойных схем для турбулентных пограничных слоёв, преимущественным образом отличающийся от имеющихся в наличии моделей на основе учётов долей объёмов впадин в подслоях и отношений шероховатых и гладких поверхностей каналов. Полученные расчётные результаты осреднённой теплоотдачи для круглой шероховатой трубы для расширенных диапазонов детерминирующих параметров, которые существенным образом различаются от аналогичных показателей для гладкой круглой трубы, но косвенно указывают на степень интенсифицированности теплоотдачи за счёт применения шероховатых каналов взамен гладких каналов. Разработанная теория преимущественно улучшает существующие теории и её необходимо использовать при расчётах интенсифицированной теплоотдачи для данных специфических условий, несмотря на ощутимо большую сложность.

**Abstract:** A method of theoretical calculations for hydroresistance and heat transfer for a round straight pipe with internal rough surfaces is developed on the basis of multilayer schemes for turbulent boundary layers, which mainly differs from the available models based on accounting for the proportions of the volumes of depressions in the sublayers and the ratios of rough and smooth channel surfaces. The obtained calculated results of the averaged heat transfer for a round rough pipe for extended ranges of deterministic parameters, which differ significantly from similar indicators for a smooth round pipe, but indirectly indicate the degree of heat transfer intensification due to the use of rough channels instead of smooth channels. The developed theory mainly improves the existing theories and it should be used in the calculations of the intensified heat transfer for these specific conditions, despite the significantly greater complexity.

УДК 532.517.4 : 536.24

## **1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ С ШЕРОХОВАТЫМИ СТЕНКАМИ**

Актуальности исследований закономерности течения в шероховатой трубе базируются на том, что шероховатости могут использоваться в качестве интенсификаторов теплоотдачи. Теоретическое исследование законов потоков и теплоотдачи при турбулентных режимах в шероховатом канале значимы, т.к. подобные каналы применяются для теплообменников и теплообменных устройствах, реализуемых в разнообразных сферах индустрии.

В настоящей статье теоретически подвергаем исследованию теплоотдачу в прямой круглой трубе с шероховатой стенкой. Шероховатость стандартным образом дефинируется в [15] посредством совокупности поверхностной неровности (к примеру, системы с впадинами и выступами) с относительными малым шагом, который выделяется по базовой длине. Конкретно каналы с периодическими выступами, в которых шаг между выступами достаточно большие, в настоящей статье исследованию не подвергаются.

Распределения совокупности неровности шероховатости в каналах принимаются в настоящей статье равномерными, а дистанции в пределах отдельных выступов сравнительно невеликими, следовательно, они взаимно влияют друг на друга.

Шероховатости поверхностей в практическом отношении не влияют на течения потоков, если толщины вязких подслоёв выше высот неровностей шероховатости. С другой стороны, для режимов с развитыми шероховатостями, которые характеризуются автомодельным характером коэффициентов гидравлических сопротивлений от критериев Рейнольдса, высоты рёбер выступов ощутимо выше толщин вязких подслоёв. В отдельных исследованиях экспериментального характера отмечаются генерации в выемках (впадинах) разрозненных течений вихреобразного характера [1]. При рассмотрении обтекания одиночных турбулизаторов с малыми критериями Рейнольдса наблюдаем безотрывные обтекания; с увеличением критерия Рейнольдса возникают одиночные вихри, которые теряют в устойчивости и становятся турбулентными с дальнейшим увеличением критерия Рейнольдса. В результате турбулентных перемешиваний происходит диффундирования в ядра потоков вихреобразований.

Похожее положение дел происходит во впадинах шероховатостей: при маленьких критериях Рейнольдса поток у шероховатых стенок в практическом отношении не различается от гладких стенок, т.к. высоты выступов являются меньшими вязких подслоёв. С увеличением критериев Рейнольдса уменьшаются толщины вязких подслоёв и становятся сопоставимыми с высотами рёбер шероховатостей. Обтекания происходят при скоростях, которые сопоставимы со средними скоростями потоков, что генерирует вихри во впадинах, что обуславливает возникновение переходных режимов течений. С дальнейшим увеличением критерия Рейнольдса расширяются возмущения для внешних ядер потоков, проникающие во впадины; течения во впадинах становятся неустойчивыми, что обуславливает развитые турбулентные режимы течений.

Для турбулентных ядер основных потоков [1] характерны повышения пульсационных интенсивностей при существовании шероховатостей на поверхностях каналов. Наибольшие пульсации располагаются в областях на вершинах рёбер и составляют порядка десятых долей от средних скоростей потоков; нормальные к стенкам пульсационные скорости могут составить до половины средних скоростей в каналах [1]. Таким образом, будет иметь место интенсивное перемешивание теплоносителей во впадинах шероховатостей, сгенерированное проникающими в них поперечными пульсациями. Перетекания теплоносителей из ядер потоков в завихрённые зоны между рёбрами шероховатостей, и обратно, как правило, неустойчиво и осуществляется как беспорядочный турбулентный обмен.

В ядрах течений масштабы возмущающих пульсаций имеют порядки характерных размеров каналов, а собственные пульсации во впадинах имеют порядки высот впадин. Таким образом, когда высоты впадин малы в сравнении с определяющими размерами каналов, то явление перемешивания во впадинах и процесс теплоотдачи определяются, главным образом, наружными пульсациями, которые обуславливают выбросы из впадин шероховатостей теплоносителя. Базируясь на этом, можно сказать, что вязкие подслои во впадинах формируются не от осреднённых в них течений, а определяются взаимодействиями со стенками внешними пульсациями. Если высоты выступов сопоставимы с размерами каналов, то протекания процессов перемешиваний в них определяются и внешними, и имманентными пульсациями. Наряду с этим, в глубинах впадин шероховатостей непосредственно близко от стенок определяющими становятся влияния внутренних пульсаций, вследствие чего толщины вязких подслоёв во впадинах связаны с осреднёнными течениями в них.

Как теоретические, так и опытные работы в направлении исследований закономерности течений и теплоотдачи в шероховатой трубе показывают, что они сильно отличаются от аналогичных законов для каналов с выступами, на что указывают работы, соответственно, [1] и [2—6].

На данный момент времени теоретическое исследование течений и теплоотдачи в трубе с шероховатостью опираются на применение логарифмических профилей скоростей, что в существенной степени адаптирует используемые математические модели и обуславливает дополнительные расхождения при относительно больших — относительно диаметра труб — шероховатостях.

Большие относительные выступы шероховатостей могут реализоваться, к примеру, в трубе малого диаметра, что сравнимо с соответственными условиями для трубы с малыми диаметрами с выступами [7].

Математические моделирования течений и теплоотдачи в шероховатой трубе ранее проводились в довольно малом количестве исследовательских работ (широкий перечень научных трудов по данной тематике приводится в книгах [8, 9, 10]), не выходящих за пределы логарифмических профилей скоростей. В рамках настоящей статьи были сгенерированы усложнённые аналитические зависимости по теплоотдаче для шероховатой трубы, чем имеющиеся в настоящее время, что обуславливает их бóльшую обоснованность, поэтому их можно использовать для расширенных диапазонов определяющих параметров. До этого, при теоретических исследованиях теплоотдачи в каналах с выступами [2—6] были сгенерированы усложнённые соотношения, нежели полученные с использованием логарифмических скоростных профилей.

Существующие опытные исследования потоков и теплоотдачи в шероховатой трубе показали, что для высоких относительных рёбрах шероховатостей турбулентные течения и соответствующие течения в канале с гладкими стенками в существенной мере различны.

## 2. ФИЗИЧЕСКАЯ И 3–Х–СЛОЙНАЯ МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОТДАЧИ В ТРУБЕ С ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

При экспериментальном исследовании течений и теплоотдачи в шероховатой трубе, которые проанализированы в [11, 12, 13], были выделены основные режимы течений:

- 1) осуществляющиеся по зависимости Пуазейля с малыми числами Рейнольдса  $Re$  автомодельным образом от высот шероховатостей — ламинарные течения;
- 2) осуществляющиеся по закономерностям гидросопротивления для гладкой трубы с промежуточными критериями Рейнольдса  $Re$  — турбулентные течения;
- 3) осуществляющиеся по закономерностям гидросопротивлений, которые являются функциями с промежуточными критериями Рейнольдса  $Re$  и с относительными шероховатостями  $\bar{h} = h/R_0$  (отношение средних высот рёбер шероховатостей к радиусам труб;  $D = 2 \cdot R_0$  — наибольшие внутренние диаметры труб) — турбулентные течения;
- 4) осуществляющиеся по закономерностям гидросопротивлений, которые являются функциями лишь относительных шероховатостей при значительных критериях Рейнольдса  $Re$  — автомодельные течения.

Для случая больших относительных высот шероховатостей реализуются элиминирования областей с турбулентными режимами, закономерности для которых характерны для гладкой трубы; аналогичные элиминирования происходят в случаях трубы с выступами [1—6].

Теплоотдача при течениях теплоносителя с неизменными физическими параметрами в трубах при условиях интенсифицированной теплоотдачи в прямой круглой шероховатой трубе может быть смоделирована как многослойная схема для турбулентных пограничных слоёв, базируясь на том, что величины турбулентных вязкостей и профилей скорости в турбулентных пограничных слоях предварительно определены.

Сходная модель для расчётов интенсифицированной теплоотдачи использовалась в исследованиях [2—6] при расчёте теплоотдачи в трубе с выступами, что обосновывает дальнейшее её применение для расчёта теплоотдачи в трубе с шероховатой внутренней поверхностью с соблюдением необходимых допущений [2—6], т.к. условия развития процессов теплоотдачи для этих случаев схожи.

Результат решения проблемы интенсифицированной теплоотдачи в настоящей статье получаем при помощи лайонова интеграла с принятием допущений  $\frac{w}{\bar{w}_x} \cong 1$  ( $\frac{w}{\bar{w}_x}$  — соотношение аксиальных и среднерасходных составляющих скоростей) которые (основываясь на теоретических исследованиях для круглой трубы и канала с

некруглыми поперечными сечениями с выступами [2—6]) незначительным образом влияют на осреднённую интенсифицированную теплоотдачу:

$$Nu = \frac{2}{\int_0^1 \left( \frac{R^3}{1 + \frac{Pr}{Pr_T} \cdot \frac{\mu_T}{\mu}} \right) dR}, \quad (1)$$

где  $R=r/R_0$ — относительный радиусный размер для труб (отношения расстояний от осей труб  $r$  к радиусам труб  $R_0$ );  $Pr_T$  и  $Pr$  — турбулентные и молекулярные критерии Прандтля соответственно;  $Nu$  — критерий Нуссельта;  $m_T$  и  $m$ — турбулентные и молекулярные динамических вязкости соответственно.

В шероховатых трубах, в отличие от гладких труб, толщины вязких подслоёв будут непостоянными по поверхностям у впадин и выступов.

Учитывая вышеизложенное, следует осуществить введение средней толщины для всех подслоёв. Плотности тепловых потоков по толщинам вязких подслоёв может быть смоделирована фактическом неизменной.

Необходимо ввести следующие обозначения:  $n_F = F_{гл}/F_{ш}$  ( $F_{ш}$  и  $F_{гл}$  — площадь шероховатой поверхности и площадь гладкой поверхности соответственным образом).

Для вязких подслоёв плотности тепловых потоков  $q$  равны:

$q = q_{ст} \cdot (F_{гл}/F_{ш}) = q_{ст} \cdot n_F$  ( $q_{ст}$  — плотности тепловых потоков в стенку), т.к. толщины вязких подслоёв очень малы в сравнении с высотами выступов.

Для тепловых потоков во впадинах плотности тепловых потоков  $q_{вп}$  переменны по глубинам впадин и зависят от форм впадин.

Фактически возможно принять допущение, что теплоперенос реализуется при постоянных тепловых потоках сквозь толщину плоского слоя от толщин вязких подслоёв до суммарных высот турбулизаторов и толщин вязких подслоёв.

На границах с ядрами потоков плотности тепловых потоков будут

следующими:  $q_{ст} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{h+h_B}{R}\right)}$ , где  $h_B$  — толщины вязких подслоёв.

На границах с вязкими подслоями плотности тепловых потоков будут следующими:  $q_{ст} \cdot (F_{гл}/F_{ш})$ .

За атрибут плотностей тепловых потоков во впадинах может быть принята средняя

от вышепредставленных комплексов, конкретнее:  $\frac{q_{ст}}{2} \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{h+h_B}{R}} + \frac{F_{гл}}{F_{ш}} \right)$ .

В связи с тем, что впадины занимают лишь долю всей площади стенки (в исследуемых подслоях на часть впадины приходится лишь доля объёма этих подслоёв), чем меньше число впадин на теплообменных поверхностях, то тем менее их объёмы, и тем менее их термические сопротивления приходится на непосредственно впадины. С другой стороны: чем более количество впадин на теплообменных поверхностях, то тем более их объёмы, и тем более их вклады в общие термические сопротивления приходится на непосредственно впадины. Вышеуказанные изменения термических сопротивлений для впадины могут быть учтены с помощью введения коэффициентов объёмов  $n_V$ , который отражает доли объёмов для впадин в подслоях.

Коэффициент  $n_V$  и коэффициент  $n_F$  для шероховатой трубы определяются или на основе установленных геометрических характеристик шероховатостей, или на основе анализа трубной профилограммы.

К примеру, у шероховатостей в форме метрических резьб вышеупомянутые коэффициенты составляют:  $n_V = 0,50$  и  $n_F = 0,58$ .

Если коэффициенты теплообмена относятся к гладким поверхностям, то:  $\alpha_{гг} = \frac{q_{ст}}{\Delta\bar{T}}$  ;  
если к шероховатым поверхностям —  $\alpha_{ш} = \frac{q_{ст}}{\Delta\bar{T}} \cdot \frac{F_{гг}}{F_{ш}} = \frac{q_{ст}}{\Delta\bar{T}} \cdot n_F$

(  $\Delta\bar{T}$  — средние суммарные температурные напоры).

Динамические скорости ("скорости трений") для шероховатых поверхностей в рассматриваемой ситуации будут различаться от аналогичных значений для гладких поверхностей:  $w_*^{ш} = w_*^{гг} \cdot \sqrt{n_F}$ .

В дальнейшем следует рассмотреть существующие эмпирические зависимости по гидравлическим сопротивлениям для шероховатой трубы.

Для трубы с шероховатостями при небольших относительных высотах рёбер асимптотический характер изменения коэффициентов гидравлических сопротивлений описывает известная эмпирическая формула Никурадзе:

$$\xi = \frac{1}{\left\{ 1,74 + 2 \lg \left[ \frac{1}{\left( \frac{h}{R_0} \right)} \right] \right\}^2} \quad (2)$$

Зависимости коэффициентов гидравлических сопротивлений у шероховатой трубы как от относительных шероховатостей, так и от критериев Рейнольдса  $\xi = f\left(\frac{h}{R_0}; Re\right)$ , характеризуются эмпирической зависимостью Колбрука, которую можно записать в нижеследующей форме:

$$\frac{1}{\sqrt{\xi}} = 1,74 - 2 \lg \left( \frac{18,7}{Re \sqrt{\xi}} + \frac{h}{R_0} \right) \quad (3)$$



Таким образом, и в опытных формулах для коэффициентов гидравлических сопротивлений при течениях в шероховатой трубе применяются логарифмические профили скоростей.

Величины гидравлических сопротивлений в прямой круглой шероховатой трубе надлежит применять при расчёте теплоотдачи в рассматриваемых интенсифицированных условиях, поскольку стратифицирование течения функционально детерминировано гидравлическим сопротивлением.

Теплоотдача при течениях в канале теплоносителя с перманентными физическими параметрами при интенсифицированных условиях в прямой круглой шероховатой трубе моделируем на базе многослойных схем турбулентных пограничных слоёв при том условии, что величины турбулентных вязкостей и профилей скорости для турбулентных пограничных слоёв полагаются заранее известными.

В дальнейшем нужно осуществить переход к конкретному подробному рассмотрению всех вышеупомянутых подслоёв.

### 1. Подслой ламинарный (вязкий).

Ламинарные (вязкие) подслои располагаются на следующем

отрезке:  $R \in \left[ 1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}\sqrt{n_F}} \sqrt{\frac{32}{\xi} - \frac{h}{R_0}}; 1 \right]$ , где  $\eta_1=5$  — константа, которая характеризует безразмерные толщины вязких подслоёв [14].

В областях вязких подслоёв принимаем следующее:

$$\frac{\mu}{\mu_T} = \beta \frac{\eta^3}{\eta_1^3} = \frac{\beta}{\eta_1^3} \text{Re}^3 n_F^{\frac{3}{2}} (1 - R)^3 \left( \frac{\xi}{32} \right)^{\frac{3}{2}}; (4)$$

$$\frac{w_x}{\bar{w}_x} = \frac{\xi}{16} \text{Re}\sqrt{n_F} (1 - R); (5)$$

где  $m/m_T$  — соотношение турбулентной вязкости и молекулярной вязкости;  $w_x/\bar{w}_x$  — соотношение осевых составляющих скоростей к среднерасходным скоростям;

$\eta = (1 - R)^3 \text{Re}\sqrt{n_F} \sqrt{\frac{\xi}{32}}$  — относительные координаты;  $b$  — константа в законах "3-ей степени" [14]:  $\frac{\mu}{\mu_T} = \beta \frac{\eta^3}{\eta_1^3}$ .

### 2. Подслой буферный (промежуточный).

Буферные подслои располагаются на следующем

отрезке:  $R \in \left[ 1 - \frac{\eta_2}{\text{Re}\sqrt{n_F}} \sqrt{\frac{32}{\xi} - \frac{h}{R_0}}; 1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}\sqrt{n_F}} \sqrt{\frac{32}{\xi} - \frac{h}{R_0}} \right]$ , где  $\eta_2=30$  константа, которая характеризует безразмерные толщины буферных (промежуточных) подслоев [14].

В областях буферных (промежуточных) подслоев принимаем следующее:

$$\frac{\mu}{\mu_T} = \frac{\eta}{5} - 1 = \frac{1}{5} (1 - R) \text{Re}\sqrt{n_F} \sqrt{\frac{\xi}{32}} - 1 \quad ;(6)$$

$$\frac{w_x}{\bar{w}_x} = 5 \sqrt{\frac{\xi}{8}} \left( 1 + \ln \left( \frac{\eta}{5} \right) \right) = 5 \sqrt{\frac{\xi}{8}} \left( 1 + \ln \left( \frac{1}{5} (1 - R) \text{Re}\sqrt{n_F} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \right) \right) \quad ;(7)$$

3. Подслой, характеризующий турбулентное ядро.

Турбулентные ядра располагаются на следующем отрезке:  $R \in \left[ 0; 1 - \frac{\eta_2}{\text{Re}\sqrt{n_F}} \sqrt{\frac{32}{\xi} - \frac{h}{R_0}} \right]$ .

В областях турбулентных ядер принимаем следующее:

$$\frac{\mu}{\mu_T} = \frac{2}{5} R (1 - R) \text{Re} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \quad ;(8)$$

$$\frac{w_x}{\bar{w}_x} = (1,325\sqrt{\xi} + 1)(1 - R)\sqrt{\xi} \quad .(9)$$

Приведённая стратификация течения позволяет детерминировать осреднённую теплоотдачу в соответствии с формулой (1):

$$\begin{aligned}
 \text{Nu} = & 2 \left[ \int_{1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{32}{\xi}} - \frac{h}{R_0}}}^1 \left( \frac{R^3}{1 + \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \frac{\beta}{\eta_1^2} \text{Re}^3 n_F^{\frac{3}{2}} (1-R)^3 \left(\frac{\xi}{32}\right)^{\frac{3}{2}}}\right) dR + \right. \\
 & \left. + n_V \frac{\left( n_F + \frac{1}{1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{32}{\xi}} - \frac{h}{R_0}}} \right)}{2} \int_{1 - \frac{\eta_1}{\text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{32}{\xi}} - \frac{h}{R_0}}}^{1 - \frac{\eta_2}{\text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{32}{\xi}} - \frac{h}{R_0}}} \left( \frac{R^3}{1 + \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \left( \frac{1}{5} (1-R) \text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{\xi}{32}} - 1 \right)} \right) dR + \right. \\
 & \left. + \int_0^{1 - \frac{\eta_2}{\text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{32}{\xi}} - \frac{h}{R_0}}} \left( \frac{R^3}{1 + \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \frac{2}{5} R(1-R) \text{Re}\sqrt{n_F}\sqrt{\frac{\xi}{32}}} \right) dR \right]^{-1}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Возможно получение аналитических зависимостей для общего интеграла (10), совсем как в исследованиях [16—24], где была решена проблема для теплоотдачи в трубах с выступами.

По вышепредставленным методикам были произведены расчётные исследования теплоотдачи для шероховатой трубы, у которой шероховатость в форме треугольных резьб, что характерно для монографии [1].

Наибольшие отличия расчёта, полученного по разработанной теории, с расчётом, сделанным по теории, которая характерна для трубы с выступами при превышающих критические  $\text{Re}_{\text{кр}}$  критерии Рейнольдса  $\text{Re}$ , что характерно для режима с развитыми шероховатостями, показано в табл. 1. Данные, приведённые в табл. 1 показывают, что вышеуказанные расхождения довольно велики.

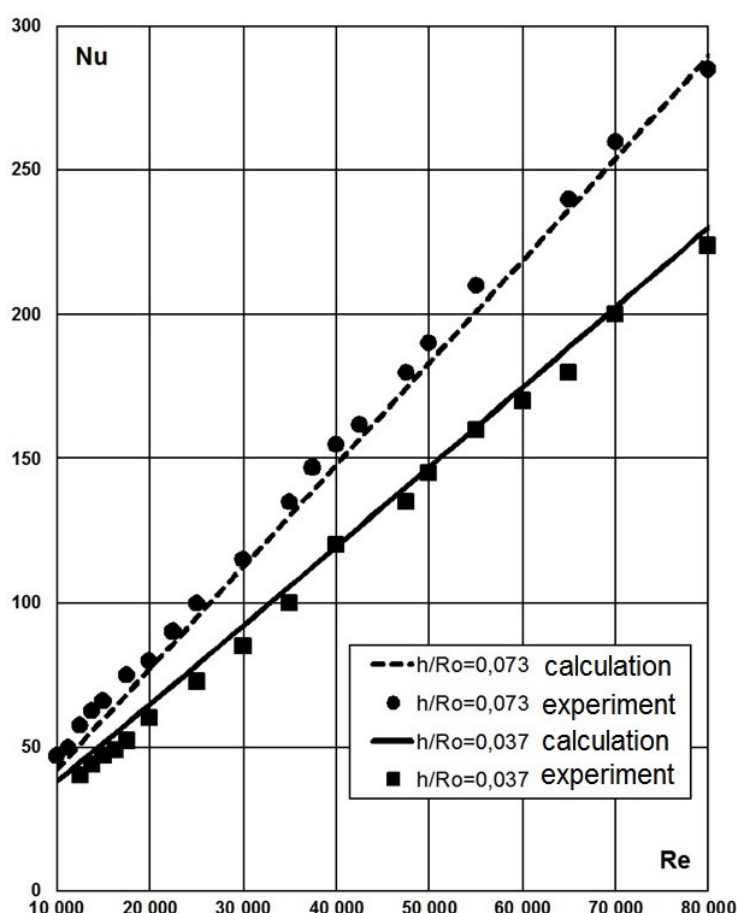
**Таблица 1. Сравнительный анализ расчёта, полученного по разработанной теории, с расчётом, сделанным по теории, которая характерна для трубы с выступами при превышающих критические  $\text{Re}_{\text{кр}}$  критерии Рейнольдса  $\text{Re}$ ,**

$h/R_0$	$\text{Nu}_{(10)}/\text{Nu}_{[16-24]} - 1$
0,016	-17,1%
0,020	-14,4%
0,027	-12,3%
0,028	-13,4%
0,033	-13,0%
0,037	-15,4%
0,042	-12,3%
0,043	-12,0%
0,046	-11,3%
0,048	-10,8%
0,053	-10,8%
0,066	-7,2%
0,073	-10,0%
0,078	-5,7%
0,107	-4,9%
0,160	-11,7%

Следовательно, модельные постулирования корректировок на поверхности шероховатостей  $n_V$  и  $n_F$  при соответственной модификации стратификаций потоков в достаточной мере уточняют расчётные параметры критериев Нуссельта для труб с шероховатостью в сравнении с теорией, специфичной для каналов с выступами [16—24], что определяет её предпочтительное использование (особенно при режимах развитых шероховатостей) в рассматриваемых характерных условиях.

Для примера проведём сравнительный анализ разработанной теории с экспериментальными данными, которые приводятся в монографии [1]. Для шероховатостей в форме треугольных резб:  $Pr=0,7$ ,  $Re=87300$ ,  $h/R_0=0,037$ ,  $n_V=0,50$ ,  $n_F=0,58$  критерий Нуссельта равняется  $Nu=251$ ; расчётные значения по разработанной теории при детерминировании гидросопротивления на основании формулы (2) составят величину  $Nu=250,4$ ; погрешность соответствия теории и эксперимента — порядка четверти процента.

Сравнения расчётных данных с экспериментальными [1] при  $h/R_0=0,037$  (точки, расположенные снизу) и  $h/R_0=0,073$  (точки, расположенные сверху) приведены для разных критериев Рейнольдса на рис. 1, где видны очень хорошие соответствия между ними.



**Рис. 1. Сопоставление расчётных теоретических параметров по теплоотдаче в шероховатой трубе с экспериментальными параметрами [1] при  $h/R_0=0,037$  (нижние точки) и  $h/R_0=0,073$  (верхние точки) для разных критериев Рейнольдса  $Re=10^4 \dots 10^5$ .**

Резюмируя, можно сказать, что представленная теоретическая концепция точнее характеризуют теплоотдачу для шероховатой трубы, чем теории, характерные для трубы с выступами [16—24], по причине целенаправленного стратифицирования в турбулентных пограничных слоях, которая ощутимо отличается от стратификаций в каналах с выступами, и дополнительно — по причине внесения коррекции на изменяющуюся поверхность у шероховатой трубы.

### 3. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Усовершенствована теоретическая методика для расчёта интенсифицированной теплоотдачи для круглой трубы с шероховатой поверхностью на базе 3-х-слойной модифицированной математической модели турбулентных пограничных слоёв.
2. Преимущество представленной методики состоит в специфическом отличии от существующих, характерных для трубы с турбулизаторами, заключающейся в модификации стратификации течения, которая учла непостоянство динамических скоростей (скоростей трения) для шероховатой трубы.
3. При расчёте теплоотдачи в шероховатой трубе 3-х-слойные модифицированные математические модели турбулентных пограничных слоёв были усложнены с помощью учёта соотношений между площадями поверхностей гладких и шероховатых труб, а помимо этого с помощью введения коэффициентов объёмов для уступов (впадин), отражающих доли объёмов уступов (впадин) в данном конкретном подслое.
4. Результаты расчёта интенсифицированной теплоотдачи для круглых шероховатых труб, полученные в статье, справедливы для расширенных диапазонов определяющих параметров и адекватно согласуются с существующим экспериментом.
5. В статье установлено, что разработанная теоретическая модель гораздо точнее описывает теплоотдачу для шероховатой трубы, чем модель, свойственная для трубы с выступами (турбулизаторами) — к примеру, в работах [16—24], — так как в ней учитываются специфические стороны теплоотдачи в трубе с шероховатой внутренней поверхностью, а теории для трубы с выступами (турбулизаторами) были разработаны для условий достаточно больших расстояний между отдельными выступами (турбулизаторами).
6. Установлено превосходство представленного специфического моделирования теплоотдачи для шероховатой трубы относительно моделей для трубы с турбулизаторами, особенно проявляющееся на режимах с развитой шероховатостью.
7. Полученный результат расчётов для осреднённой теплоотдачи в круглой шероховатой трубе в расширенном диапазоне определяющих величин существенным образом отличается от аналогичных результатов для гладкой круглой трубы, но косвенно указывает на степень интенсифицирования теплоотдачи за счёт применения вместо гладких труб — шероховатых труб.
8. Представленная характерная методика теоретического расчёта осреднённой теплоотдачи для круглой трубы с шероховатой внутренней поверхностью на базе 3-х-

слоистой модифицированной математической модели для турбулентных пограничных слоёв обладает преимуществом по отношению к имеющимся моделям и её необходимо использовать в целях расчёта интенсифицированной теплоотдачи для данных специфических условий, даже при условии её несколько большей сложности.

#### Литература:

1. Эффективные поверхности теплообмена / Э.К.Калинин, Г.А.Дрейцер, И.З. Копп и др. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 408 с.
2. Лобанов И.Е. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. — М., 2005. — 632 с.
3. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Том I. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах с применением основных аналитических и численных методов. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. — 405 с.
4. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Том II. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах с применением неосновных аналитических и численных методов. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. — 290 с.
5. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Том III. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах с применением многослойных, супермногослойных и компаундных моделей турбулентного пограничного слоя. — М.: МГАКХиС, 2010. — 288 с.
6. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах Том IV. Специальные аспекты математического моделирования гидрогазодинамики, теплообмена, а также теплопередачи в теплообменных аппаратах с интенсифицированным теплообменом. — М.: МГАКХиС, 2011. — 343 с.
7. Лобанов И.Е., Доценко А.И. Математическое моделирование предельного теплообмена для турбулизированного потока в каналах. — М.: МИКХиС, 2008. — 194 с.
8. Иевлев В.М. Численное моделирование турбулентных течений. — М.: Наука, 1990. — 215 с.
9. Ляхов В.К. Метод относительного соответствия при расчётах турбулентных пристеночных потоков. — Саратов: Издательство Саратовского университета, 1975. — 123 с.
10. Ляхов В.К., Мигалин В.К. Эффект тепловой, или диффузионной, шероховатости.

- Саратов: Издательство Саратовского университета, 1989. — 176 с.
11. Миллионщиков М.Д. Турбулентные течения в пограничном слое и в трубах. — М.: Наука, 1969. — 52 с.
12. Миллионщиков М.Д. Турбулентные течения в пристеночном слое и в трубах // Атомная энергия. — 1970. — Том 28. — Выпуск 3. — С. 207—220.
13. Миллионщиков М.Д. Турбулентный тепло- и массообмен в трубах с гладкими и шероховатыми стенками // Атомная энергия. — 1971. — Том 31. — Выпуск 3. — С. 199—204.
14. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
15. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.
16. Лобанов И.Е. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах на базе четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя // Современные проблемы науки и образования. — 2010. — № 3. — С. 81—89.
17. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами для теплообменников современного металлургического производства с применением четырёхслойной модели турбулентного пограничного слоя // Техника и технология. — 2010. — № 3. — С. 67—77.
18. Лобанов И.Е. Теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах на основе четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя для относительно высоких турбулизаторов потока // Актуальные проблемы современной науки. — 2010. — № 6. — С. 248—252.
19. Лобанов И.Е. Общая теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в круглых трубах с турбулизаторами с применением четырёхслойной модели турбулентного пограничного слоя // Авиакосмическое приборостроение. — 2011. — № 5. — С. 25—32.
20. Лобанов И.Е., Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в трубах с турбулизаторами для теплообменников современного металлургического производства с применением четырёхслойной модели турбулентного пограничного слоя // Альманах современной науки и образования. — 2011. — № 9 (52). — С. 29—35.
21. Лобанов И.Е. Общая теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в круглых трубах с высокими турбулизаторами на базе четырёхслойной модели турбулентного пограничного слоя // Московское научное обозрение — 2011. — № 10. — С. 10—15.
22. Лобанов И.Е. Точное решение задачи об интенсифицированном теплообмене при турбулентном течении в каналах с относительно невысокими турбулизаторами потока на базе четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя // Техника и технология. — 2012. — № 2. — С. 26—37.
23. Лобанов И.Е. Общая теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в круглых трубах с относительно высокими турбулизаторами с применением четырёхслойной модели турбулентного пограничного слоя // Отраслевые аспекты технических наук. — 2013. — № 10. — С. 7—13.
24. Лобанов И.Е. Четырёхслойная теория интенсифицированного теплообмена для труб с относительно невысокими турбулизаторами потока // Отраслевые аспекты технических наук. — 2013. — № 11. — С. 3—6.

# АСТРОНОМИЯ, ФИЗИКА, ЗА ГОРИЗОНТОМ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

## ЭМПИРИЧЕСКАЯ КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ: ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ КОНСТАНТ И ПРИМЕНЕНИЕ В ОПИСАНИИ ВСЕЛЕННОЙ

**Курков Андрей Андреевич**  
кандидат физико-математических наук  
пенсионер

**Ключевые слова:** вторая компонента гравитационного поля; волновое пространство; квантовая гравитация; скорость передачи гравитационного взаимодействия; структура Вселенной; гравитация в атоме; классификация элементарных частиц

**Keywords:** the second component of the gravitational field; wave space; quantum gravity; transmission rate of gravitational interaction; structure of the universe; gravity in the atom; classification of elementary particles

**Аннотация:** Эмпирическая квантовая теория гравитации получена дополнением закона Всемирного тяготения волновой компонентой поля и предназначена объяснить массы и размеры всех структур Вселенной. Новая компонента поля связывает массу с волновым пространством вокруг него, что придает гравитации квантовые свойства аналогичные у микромира. Константы обеих компонент определяют скорость взаимодействия, а малая скорость объясняет расширение и рост массы всех элементов Вселенной. Необходимые константы вычислены по данным солнечной системы. Представлен волновой профиль Солнца и основные уровни его иерархии. Найден квантовый закон распределения планет – гигантов по орбитам и массам, который применен к системам самих планет – гигантов. Показано, что распределение масс продуктов распада нейтрона на атом водорода соответствует распределению масс Солнце - Юпитер. В этом случае описание атомов и классификация элементарных частиц описывается константой структуры, равной отношению скорости света к гравитации.

**Abstract:** The law of Universal gravitation by supplemented with the wave component of the field gives gravitation quantum properties and is intended to explain the masses and sizes of all structures the Universe. The constants of both components determine the speed of interaction, and the low speed explains the expansion and growth of the mass all elements Universe. The required constants are calculated from the data of solar system. The wave profile of the Sun and the main levels of its hierarchy are presented. Found a quantum law of distribution giant planets in orbits and masses, which is applied to the systems of the giant planets themselves. It is shown that the masses distribution of the decay products of a neutron per hydrogen atom corresponds to the mass distribution of the Sun - Jupiter. Then of atoms and the classification of elementary particles are described by the constant of structure equal to the ratio of the speed of light to gravitate.



## УДК 53.023

### Введение

Квантовая теория поля добилась впечатляющих успехов благодаря корпускулярно – волновому дуализму, обнаруженному у элементарных частиц, и развитому под него математическому аппарату. При этом корпускулярно – волновой дуализм считается качественным отличием микромира. Теперь при углублении в микромир и обнаружении новых его свойств, постулируются новые виды взаимодействий, придумываются новые потенциалы и все более сложный математический аппарат, а также предлагаются все более фантастические трактовки этих новых свойств. Такой специфический математический аппарат предназначен не для классических взаимодействий, а для квантовых постулатов. Он появился не в результате осмысления эмпирических фактов и найденных закономерностей, а для подгонки наблюдений под постулированные теории. Так в стандартной модели элементарных частиц отсутствует гравитация, потому что это взаимодействие не смогли втиснуть в квантовые постулаты. Этому имеются объективные причины, но гравитацию не удалось сделать квантовой.

Развитие физики идет по пути ограничений. Конечная скорость света стала важным ограничением, потому что сразу возникла проблема релятивизма. С разделением заряда и поля возникла проблема расходимости потенциала поля в начале координат и его наличия на бесконечности. В микромире квантовая механика решает эти проблемы постулатом корпускулярно – волнового дуализма или гипотетическим «коротким» потенциалом. Гравитацию (также как и электромагнетизм) с ее «длинным» потенциалом втиснуть в нужные ограничения не удалось.

Опыт Э. Резерфорда показал пустоту атома, что заставляет ученых переосмысливать понятия тело и пространство. Пространство должно обладать какими-то физическими свойствами. Число Авогадро связывает количество частиц в объеме, орбиты электронов в атомах определены электрическим зарядом ядра, но все это как – бы констатация факта, а не осмысление понятия физического пространства. Гипотеза праматерии В.А. Амбарцумяна, гипотеза Ф. Хойла и др. (в Теории стационарной Вселенной) о константе отношения массы тела к линейному размеру занимаемого им пространства – все это попытки эмпирического осмысления фактов в астрономии.

### Актуальность

Знакомство с микромиром потребовало пересмотра всех представлений об окружающем мире и создания все более сложного оборудования при проведении экспериментов, поэтому теоретические исследования начали опережать эксперимент. Теоретики научились конструировать природу на самых общих принципах, создав виртуальную реальность, которая все больше начинает вступать в противоречие с наблюдаемым миром.

Человеку также привычней видеть мир стационарным, поэтому созданные им теории обнаруживают несостоятельность при описании динамических процессов.

Еще один человеческий фетиш – стремление к простоте. В науке это выразилось в стремлении объединить все взаимодействия и создать единую теорию, способную описать все.

В данной статье представлена новая теория гравитации, которая включает в себя закон Всемирного тяготения и ряд эмпирических свойств материи. Это чисто эмпирическая теория гравитации, так как она построена на наблюдательных фактах и для нее вычислены все необходимые новые константы.

### **Цели, задачи, материалы и методы**

Новая теория должна показать свою жизнеспособность, чтобы быть признанной. Если это теория гравитации, то задача осложняется тем, что все элементы мироздания имеют массу, следовательно, она должна описывать все мироздание. Однако теория гравитации – это не «Теория Всего», поэтому требуется последовательно и с фактами аргументировать отличие новой теории от других и ее применение в различных диапазонах масс.

Анализ классического уравнения стационарности орбит привел к волновым свойствам тел в качестве второй компоненты поля. Конечная скорость передачи взаимодействия и необходимость вычисления ее значения (а также константы новой компоненты поля) потребовали построить весь волновой профиль Солнца и планетных систем планет – гигантов. Показаны все уровни иерархии волнового пространства Солнца и свойства каждого уровня.

Малая скорость передачи гравитационного взаимодействия позволила предложить идею Вселенной – частицы и с ее помощью объяснить не только расширение Вселенной и рост массы каждого ее элемента, но и всю ее структуру. Закон силы теперь включает не только закон притяжения, но и растяжения, и объясняет распределение структур Вселенной по массам и размерам.

Квантовые свойства орбит планет – гигантов позволили вычислить их массы, а полученные соотношения масс Солнце – Юпитер равны отношению масс продуктов распада нейтрона на атом водорода. Найденные свойства планетной системы применимы к атому и для классификации элементарных частиц.

### **Научная новизна**

Закон Всемирного тяготения дополнен второй волновой компонентой поля, в результате чего классическая теория приобрела квантовые свойства.

По данным солнечной системы вычислены три фундаментальные константы: константа для второй компоненты гравитационного поля; скорость передачи гравитационного взаимодействия; константа структуры, равная отношению скорости света и гравитации.

Скорость гравитации существенно меньше скорости света, что позволило получить в общем виде закон расширения Вселенной, объяснить рост массы каждой ее составляющей и всю структуру. В отличие от современных теорий, описывающих стационарный мир, получена фундаментальная динамическая теория.

В предложенной теории получили обоснование три уровня волнового профиля Солнца, включая пояс астероидов (и кольца планет), а также закон распределения планет – гигантов по массам.

Так как элементарные частицы обладают массами, то новая теория гравитации позволяет их классифицировать на основании распределения масс планет.

### **Вторая компонента гравитационного поля и волновой профиль пространства Солнца**

Новая теория гравитации приобретет корпускулярно – волновые свойства, если дополнить закон Всемирного тяготения второй компонентой.

Введем следующие обозначения констант поля:

- константа из закона Всемирного тяготения;
- новая гравитационная константа для второй компоненты поля;
- конечная скорость передачи гравитационного взаимодействия.

Для вычисления новых констант рассмотрим стационарную орбиту планеты, приравняв центробежную силу силе притяжения. После упрощения исходного уравнения, получаем:

(1)

Здесь  $M$  – масса центрального тела,  $m$  – масса планеты ( $M \gg m$ ),  $V$  – средняя скорость движения планеты по орбите,  $r$  – большая полуось орбиты планеты.

Астрономы используют константу  $\gamma$ , так как она не требует знания массы. Физики используют константу  $k$  для выделения физического смысла заряда.

Уравнение (1) показывает, что масса тела  $M$  (заряд) создает вокруг себя волновое поле, которое определяет радиусы орбит и скорости планет. В этом случае правая часть уравнения (1) также является константой.

Предположим, что гравитационное поле обладает второй компонентой с самостоятельной константой  $k$ . Размерность новой константы выберем таким образом, чтобы уравнение для скорости передачи гравитационного взаимодействия имело вид

(2)

то есть аналогичный уравнению для скорости передачи электромагнитного взаимодействия. Размерность новой константы  $k = \text{г/м}$ .

Если правую часть уравнения (1) умножить и разделить на коэффициент  $k$  и сгруппировать, как показано ниже

(3)

то получим соотношения для вычисления недостающих новых констант.

Здесь  $T$  - период основной гравитационной волны тела массой  $M$ .

Если подставить уравнение (2) в уравнение (3), то легко убедиться, что масса центрального тела создает вокруг себя волновой профиль

пространства  $\rho(r)$  и окончательно:

(4)

Уравнение (4) соответствует новой компоненте гравитационного поля.

Левая скобка уравнения (3) позволяет вычислить скорость передачи гравитационного взаимодействия по данным солнечной системы:

(5)

Правая скобка уравнения (3) позволяет вычислить период основной гравитационной волны Солнца по большим полуосям орбит планет солнечной системы:

(6)

Значение  $c$  можно вычислить из уравнения (2) или из уравнения (4).

Таким образом, масса центрального тела полностью определяет устройство планетной системы вокруг него.

В таблице 1 приведены значения больших полуосей орбит всех планет солнечной системы (столбец 3).

Юпитер обладает наибольшей массой среди планет, малым эксцентриситетом орбиты и малым наклоном экватора к плоскости эклиптики. Все перечисленное позволяет поместить Юпитер на основной энергетический уровень солнечной системы ( $k=1$  столбец 2 таблицы 1) и провести расчет коэффициентов других планет относительно параметров его орбиты.

Для вычисления коэффициентов  $k$  планет земной группы разделим большую полуось орбиты Юпитера на большие полуоси орбит планет земной группы, округлим результат до целого числа и занесем в таблицу 1 в виде дроби (столбец 2 таблицы 1). Для вычисления коэффициентов  $k$  планет – гигантов разделим большие полуоси орбит Сатурна, Урана и Нептуна на большую полуось орбиты Юпитера, округлим результат до целого числа и занесем в столбец 2 таблицы 1.

Таблица 1. Исходные данные для вычисления периода основной гравитационной волны Солнца

Планета	Значение большой полуоси орбиты, млн. км		
	k	Наблюдение, r	Значение
1	2	3	4
Меркурий	1/13	57.9	752.7
Венера	1/7	108.2	757.4
Земля	1/5	149.6	748
Марс	1/3	227.9	683.7
Юпитер	1	778.3	778.3
Сатурн	2	1427	713.5
Уран	4	2870	717.5
Нептун	6	4496	749.3

Исходное значение для каждой планеты вычислялось делением большой полуоси орбиты планеты на соответствующий коэффициент k, заносилось в столбец 4 таблицы 1 и все значения столбца 4 анализировались в Excel с помощью Анализ данных / Описательная статистика. Получено следующее значение длины основной гравитационной волны Солнца = 737.55(30.26) млн. км. В скобках приведено стандартное отклонение.

Для расчета скорости передачи гравитационного взаимодействия в таблице 2 собраны средние скорости движения всех планет солнечной системы по орбитам и приведены ранее вычисленные коэффициенты k.

Исходные значения для каждой планеты вычислялись по уравнению:

(7)

заносились в столбец 4 таблицы 2 и анализировались в Excel Анализ данных / Описательная статистика.

Таблица 2. Средние скорости движения планет по орбитам

Планета	Скорость движения планеты, км/с		
	k	Наблюдаемая, V	
1	2	3	4
Меркурий	1/13	47.85	13.27
Венера	1/7	35.01	13.23
Земля	1/5	29.77	13.31
Марс	1/3	24.11	13.92
Юпитер	1	13.06	13.06
Сатурн	2	9.62	13.60
Уран	4	6.80	13.60

Нептун	6	5.43	13.30
--------	---	------	-------

Скорость передачи гравитационного взаимодействия составляет  $\dot{r} = 13.41(0.27)$  км/с, где в скобках указано стандартное отклонение.

Теперь период основной гравитационной волны Солнца можно выразить

временем  $T = 10.95$  лет.

С точки зрения физического смысла получен важный результат. Человек воспринимает пространство математическим, в то время как волновое гравитационное поле связано с массой и имеет физический смысл. За процессом волновой деятельности Солнца можно судить по числам Вольфа (количеству пятен на Солнце) и волнообразным процессам на Земле. За 308 лет наблюдений за пятнами на Солнце (с 1702 года по 2010 год) произошло 28 полных циклов активности, и средний период колебаний Солнечной активности (11 лет) очень точно согласуется с периодом основной гравитационной волны. Период второй гравитационной волны равен  $T_2 = 21.9$  лет, и он также хорошо прослеживается в волновых процессах на Земле.

Масса Солнца равна  $M_{\odot}$  г, тогда значение новой гравитационной константы равно  $G$  г/м.

Сравним существующее значение гравитационной константы  $G_{old}$  см<sup>3</sup>/(г·с<sup>2</sup>) со значением из уравнения (2):

$$G_{new} = G_{old} \cdot \left(\frac{M_{\odot}}{M_{Earth}}\right)^2. \quad (8)$$

Согласие значений константы в пределах ошибки измерения.

Планеты – гиганты относятся к первому («квантовому») уровню иерархии солнечной системы, на котором средние скорости движения планет по орбитам меньше или равны скорости передачи гравитационного взаимодействия  $\dot{r}$ .

Представим коэффициент  $k$  привычными квантовыми числами: главным (энергетическим) числом -  $n$  и орбитальным -  $m$ . Полученный коэффициент  $k$  несколько отличается от квантовых чисел атома и может быть представлен следующим образом:

1. Юпитер находится в основном энергетическом состоянии солнечной системы с главным квантовым числом, равным  $n=1$ . Тогда его орбитальное квантовое число равно  $l=n-1=0$  и оно принимает одно значение  $m=2l+1=1$ . Коэффициент равен  $k=nm=1$ . Следовательно, в этом состоянии находится одна планета с наклоном экватора к плоскости орбиты, равным (эмпирическая формула)

2. В следующем энергетическом состоянии ( $n=2$ ), орбитальное квантовое число равно  $l=n-1=1$  и в этом энергетическом состоянии находится  $m=2l+1=3$  планеты:
- Из 3 возможных состояний Сатурн приобретает орбитальное квантовое число равное  $m=1$  и коэффициент  $k=nm=2$ . Наклон экватора к плоскости орбиты - ;
  - Уран ( $m=2$ ). Коэффициент  $k=nm=4$ , наклон экватора к плоскости орбиты - (планета по орбите катится на боку);
  - Нептун ( $m=3$ ). Коэффициент  $k=nm=6$ , наклон экватора к плоскости орбиты - (спутник планеты вращается против вращения планеты).

Сравнение наблюдаемого наклона экватора планет с расчетом показано в таблице 3.

Таблица 3. Наклон экватора планет – гигантов к плоскости эклиптики.

Наклон экватора, град / Планета	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Наблюдение	3.1	26.7	97.8	151.7
Теория	0	30	90	150

Из таблицы 3 видно, что волновое пространство вокруг Солнца соответствует квантовой гипотезе и правильно объясняет наклоны экваторов планет – гигантов.

Планеты земной группы находятся на следующем (втором) уровне иерархии Солнечной системы, а значения их коэффициентов  $k$  удовлетворяют условию интерференции основной гравитационной волны Солнца:

(9)

где  $l=1, 2, \dots$  - порядок интерференции.

Средние скорости движения планет земной группы по орбитам больше скорости передачи гравитационного взаимодействия .

Из коэффициентов  $k$  видно, что для Меркурия последовательность нарушена. Это можно объяснить тем, что в область периода гравитационной волны, удерживающей планету на орбите, попало несколько порядков интерференции . Эмпирический порядок интерференции Меркурия равен и соответствует коэффициенту  $k=1/13$ .

Имея параметры основной гравитационной волны Солнца, представим ее на рисунке 1 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (сверху и в радиальном разрезе) с нанесенными наблюдаемыми объектами.

Волнообразная линия серого цвета (обозначена цифрой 6) представляет собой основную гравитационную волну Солнца в радиальном разрезе. В центральной яме основной волны находится Солнце (обозначено цифрой 1), а в другой яме – Юпитер (обозначен цифрой 2a). На расстоянии от                    до                    расположен пояс астероидов (3) по обе стороны от Солнца.

В проекции сверху черной круговой линией изображена орбита Юпитера (7). Гравитационные волны распределены не только вдоль радиуса солнечной системы, но и вдоль орбит планет. Поэтому на круговую орбиту Юпитера наложена волна серого цвета с периодом основной гравитационной волны Солнца (8). В яме этой серой волны на своей орбите находится Юпитер (2b). Впереди от Юпитера по его орбите расположены Греки (4), а позади Юпитера – Троянцы (5). И Греки, и Троянцы находятся от Юпитера на расстоянии от                    до                    вдоль орбиты.

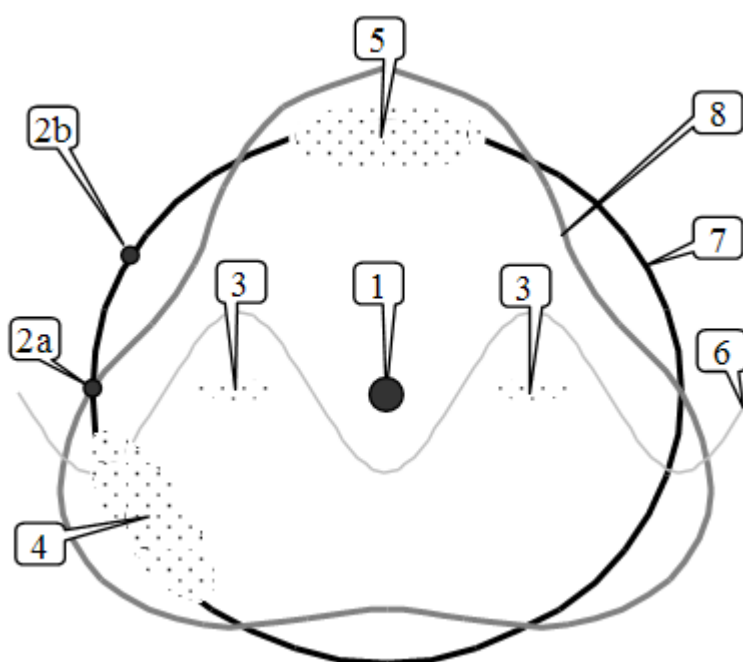


Рисунок 1. Схематическое изображение основной гравитационной волны Солнца в двух разрезах. Солнце (1) – чёрная точка в центре.

Радиальный разрез: Юпитер (2a) – точка в яме основной волны; пояс астероидов (3) – располагается на «вершине» волны; основная волна (6).

Вид сверху: Юпитер (2b) – точка на орбите тоже в яме основной волны; Греки (4) – астероиды на орбите Юпитера впереди от него; Троянцы (5) – астероиды на орбите Юпитера позади от него; (7) – орбита Юпитера; (8) – волна вдоль орбиты Юпитера.

Пояс астероидов, кольца планет, Греки и Троянцы на орбитах планет, а также точки либрации позволяют предположить связь всех этих объектов с волновой структурой поля соответствующего тела (и второй космической скоростью). В таком случае пояс астероидов – это третий уровень иерархии солнечной системы, он возник не в результате распада гипотетической планеты Фазтон, а имеет естественную природу. Планете Фазтон нет места среди рассмотренных планет, а место кольцеобразных объектов обозначим эмпирическими формулами, пригодными для всех тел:



и (10)

Здесь  $r_i$  и  $r_e$  – внутренний и внешний радиус пояса астероидов или кольца вокруг планеты;  $M$  – масса космического объекта, вокруг которого наблюдаются кольца;  $m$  – порядок волны.

Порядок волны  $m$  учитывает конечные размеры космических тел. Иногда радиус планеты превышает половину длины собственной основной гравитационной волны, тогда кольца наблюдаются около вершины следующего периода гравитационной волны. Так как радиус тела малой массы может оказаться существенно больше длины периода его собственной основной гравитационной волны, то вокруг тел малой массы колец не наблюдается.

Есть основания предполагать, что каменные пояса (пояс астероидов и кольца планет) вокруг космических тел имеют фундаментальную природу по происхождению и должны наблюдаться практически вокруг каждого космического тела достаточно большой массы.

В таблице 4 сравниваются результаты вычисления размеров пояса астероидов и колец планет по уравнениям (10) с соответствующими наблюдениями для Солнца и планет – гигантов.

Таблица 4. Внутренний и внешний радиусы пояса астероидов и колец планет.

Объект	m	Внутренний радиус, тысяч км		Внешний радиус, тысяч км	
		Наблюдение	Расчёт	Наблюдение	Расчёт
Солнце	0	190000	184000	560000	553000
Юпитер	0	181	176	563	528
Сатурн	0	67	52.6	174	158
	1	180	263	480	369
Уран	1	38	40.3	69.9	56.4
	2	86	72.4	103	88.4
Нептун	1	42	47.4	63	66.4

Наблюдательная оценка приведённых параметров затруднена плохой видимостью объектов (колец), поэтому имеются отклонения от прогноза.

Отметим принципиальные отличия первого и второго уровней иерархии солнечной системы. Планеты – гиганты благодаря своей массе формируют системы спутников аналогичные солнечной системе. То есть имеют кольца и массы их спутников много меньше их центральных планет. Масса всех планет земной группы не должна превышать массы самой легкой из планет – гигантов, как следствие интерференции, а спутники этих планет имеют массы сопоставимые с массой центральной планеты. В случае интерференции спутники планет земной группы должны представлять собой соседние интерференционные полосы: у Марса – два, у Земли – один, у Венеры спутника нет, а Меркурий сам занимает три интерференционных порядка.

Так как Марс находится одновременно в области планет земной группы и в области пояса астероидов, то он существует как планета, но его параметры больше похожи на большой астероид.

Все указанные различия наблюдаются и являются следствием свойств их уровня иерархии.

Так как радиус тела увеличивается медленнее, чем длина его основной гравитационной волны, то можно оценить область масс тел, когда начинают проявляться их «квантовые» свойства. Легкие тела проявляют классические взаимодействия, а тяжелые – «квантовые». «Квантовые» свойства тел проявляются благодаря тому, что гравитационная волна выступает за пределы (радиус) тела и в этом случае они взаимодействуют своими волновыми полями, то есть «квантово».

### Расчет масс планет - гигантов

Теперь покажем, что планетная система образует связанную систему маятников (осциллятор). Критерием устойчивости орбит и планетной системы в целом служит условие кратности периода обращения планеты периоду встреч:

$$\dots \quad (11)$$

Здесь – целое положительное число.

Для планет с периодами обращения и (при ) период встречи

равен или

$$\dots \quad (12)$$

Подставляя уравнение (12) в (11), получим уравнение осциллятора:

$$\dots \quad (13)$$

В качестве выберем период обращения Солнца вокруг центра масс

системы и вычислим (таблица 5). Здесь уже период обращения планет – гигантов.

Таблица 5. Осциллятор Солнечной системы.

объект	Солнце	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
, лет	178.77	11.86	29.45	84.01	164.8	247.9
, лет	-	11.12	25.29	57.15	85.75	103.8
m	-	15.07	6.07	2.13	1.09	0.72

Астрономы с 2006 года уже не относят Плутон к планетам, что подтверждается дробным значением  $m$ . Для остальных планет условие целых значений  $m$  (резонанса) выполняется достаточно точно.

В таблице 5 величина  $m$  пробегает значения не по порядку, что даёт основания предполагать конечное число уровней осциллятора над «ямами» планет.

Ограничим также количество уровней в солнечной системе величиной:

$$K \leq \frac{C}{v} \quad (14)$$

где  $C$  – скорость света.

Под словом система подразумевается не только солнечная система, но и любая система достаточно массивной планеты. Так как константа получена отношением двух фундаментальных скоростей носителей электромагнитного и гравитационного взаимодействий, то она также будет фундаментальной константой. Назовем ее константой структуры.

Физический смысл константы структуры состоит в том, что количество уровней в любой замкнутой системе равно числу  $K$ . Так как мы рассматриваем гравитационную систему, то под полным количеством уровней подразумевается вся масса системы. Если  $M$  – масса солнечной системы, которая с высокой точностью равна массе

Солнца  $M_{\odot}$ , то масса одного уровня осциллятора солнечной

системы  $m$  равна:  $m = \frac{M_{\odot}}{K}$  г.

Масса каждой из планет – гигантов и Солнца определяется количеством уровней осциллятора над ямой каждой из планет в суперпозиции гравитационных волн Солнца (рисунок 2).

Солнечная система имеет два энергетических состояния. В основном состоянии находится Юпитер (представлен волной длиной  $\lambda_1$ ), во втором - Сатурн, Уран и Нептун (представлен волной с длиной периода  $T$  и с тремя периодами, по одному периоду для каждой планеты). Разложение потенциала Солнца на гравитационные волны демонстрирует рисунок 2.

Чтобы наложить полученный осциллятор на суперпозицию волн, необходимо время пересчитать в расстояние по закону Кеплера. В таблице 6 приведены результаты расчета масс планет – гигантов.

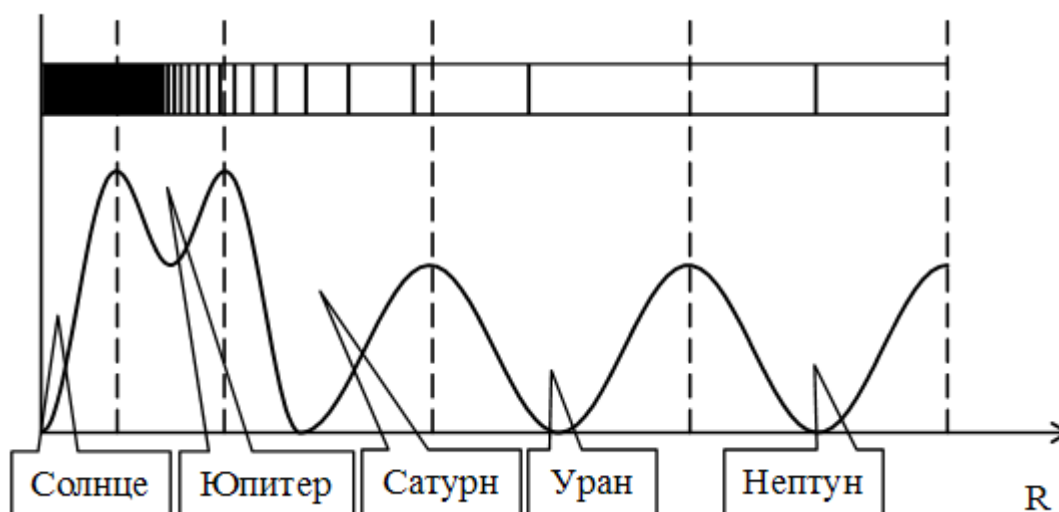


Рисунок 2. Разложение потенциала Солнца на гравитационные волны.

Вверху показан осциллятор. Внизу суперпозиция гравитационных волн. Вертикальные пунктирные линии выделяют «ямы» и уровни объектов над ними. Сноски указывают соответствующие названия планет и Солнца.

Таблица 5. Результаты вычислений масс планет – гигантов.

Планета / Масса , г	Наблюдаемая	Расчётная	Кол-во уровней
Солнце	199000	-	22321
Юпитер	190	195.9	22
Сатурн	56.8	53.4	6
Уран	8.7	8.9	1
Нептун	10.3	8.9	1
Все планеты	265.8	267.1	30

Расчет подтверждает, что Солнечная система обладает иерархией структуры и «квантовыми» спутниками Солнца являются планеты – гиганты, так как их массы кратны массе уровня в соответствии с таблицей 5:

- масса Юпитера равна ;
- Сатурна – ;
- Урана и Нептуна – по одному уровню .

Результат расчета можно считать законом распределения по массам и орбитам в планетных системах.

Отклонения расчетных масс планет от наблюдаемых масс довольно велики. Например, наблюдаемая масса Нептуна почти на 16% больше расчетной массы. Для проверки адекватности выполненного расчета в нижней строке таблицы 5 приведены наблюдаемые и расчетные суммы масс всех планет – гигантов. Отклонение расчетной суммы масс от наблюдаемой, в этом случае, не превышает 0,5%. Из этого

следует, что расчеты выполнены адекватно, но в них не учтены некоторые детали второго порядка малости.

Учет того, что вокруг планет – гигантов существуют системы спутников, практически не влияет на точность расчета масс планет.

Весьма интересный результат демонстрирует рисунок 3, на котором представлены данные расчета из таблицы 5 и через точку Юпитера проведена параболическая зависимость.

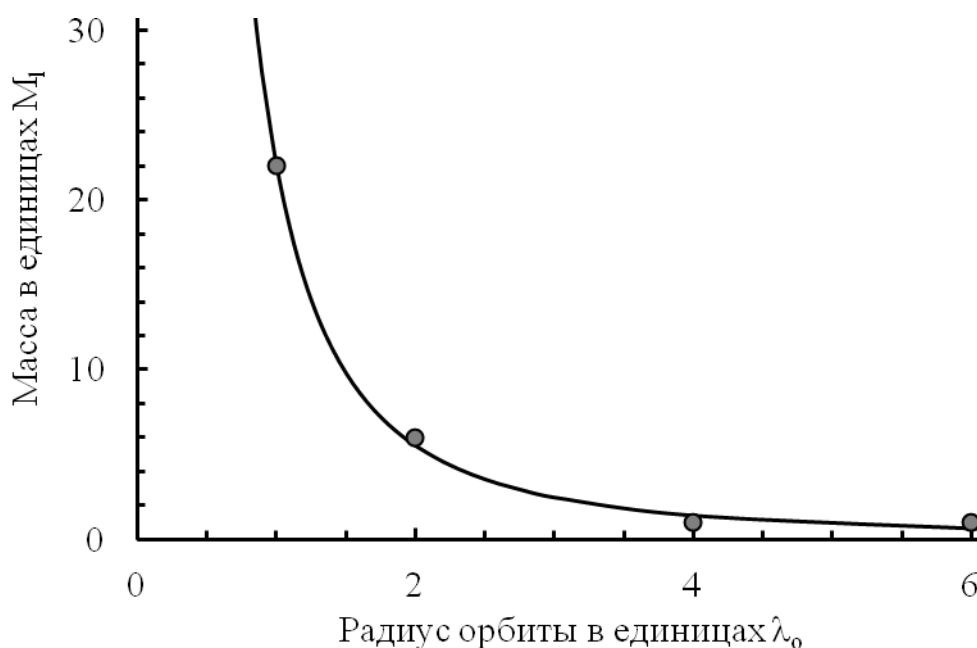


Рисунок 3. Зависимость массы планеты в единицах  $M_J$  от радиуса орбиты в единицах  $\lambda_0$ . Точки – данные расчета из таблицы 5, линия – парабола, проведенная через точку Юпитера.

Как видно из рисунка 3 потенциал Солнца определяет массы и радиусы орбит планет – гигантов. Кроме того, парабола выходит на массу Солнца ( $22331 M_J$ ) при радиусе  $0.0314 \lambda_0$  (23.16 млн. км), что много больше радиуса Солнца и больше большой полуоси его орбиты.

Движение Солнца вокруг центра масс системы также подчиняется принципу неопределенности и снимает расходимость потенциала в начале координат. Наличие потенциала на «бесконечности» снимается вложенностью структур внутри Вселенной и их ограниченностью в пространстве.

### Планетные системы планет – гигантов

Спутники планет-гигантов подчиняются тем же правилам иерархии, которым подчиняются они сами при расположении вокруг Солнца (по орбитам и массам), то есть сумма масс спутников планеты не должна превышать 30 масс ее уровня. Размеры планет – гигантов сопоставимы с длиной их собственной основной гравитационной волны, поэтому их системы спутников не копируют Солнечную

систему, но массы спутников должны быть равны нескольким массам уровней их центральной планеты.

Проверим полученные соотношения на планетных системах планет – гигантов. Для этого вычислим периоды основных длин волн и массы уровней для центральных планет рассматриваемых систем (таблица 6).

Таблица 6. Параметры планет - гигантов

	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Период волны , тыс. км	704.23	210.64	32.18	38.18
Радиус планеты в единицах	0.099	0.276	0.788	0.645
Масса уровня , г	85	25.4	3.885	4.608

Теперь представим планетные системы в вычисленных единицах, то есть радиусы орбит спутников планет – гигантов представим в единицах длин периодов волн их центральных планет, а массы спутников в массах единичных уровней. В таблице 7 сведены полученные результаты, при этом отброшены те спутники, массы которых меньше массы единичного уровня соответствующей центральной планеты, кроме Европы и спутников Урана.

Отбраковка спутников по массе выполнена потому, что космические тела массой г с течением времени распадаются. Ниже и в статье [5] показаны причины распада таких легких тел.

Таблица 7. Параметры планетных систем планет – гигантов.

Центральное тело Юпитер		
Название спутника	Радиус орбиты	Масса
Ио	0.599	1.05
Европа	0.953	0.565
Ганимед	1.52	1.74
Каллисто	2.673	1.27
Центральное тело Сатурн		
Название спутника	Радиус орбиты	Масса
Мимас	0.881	1.48
Титан	5.80	5.31
Центральное тело Уран		
Название спутника	Радиус орбиты	Масса
Ариэль	5.94	0.348
Умбриэль	8.27	0.301
Титания	13.54	0.909
Оберон	18.13	0.775
Центральное тело Нептун		
Название спутника	Радиус орбиты	Масса
Тритон	9.29	4.64

Для наглядности данные таблицы 7 представлены на рисунке 4 в сравнении с солнечной системой.

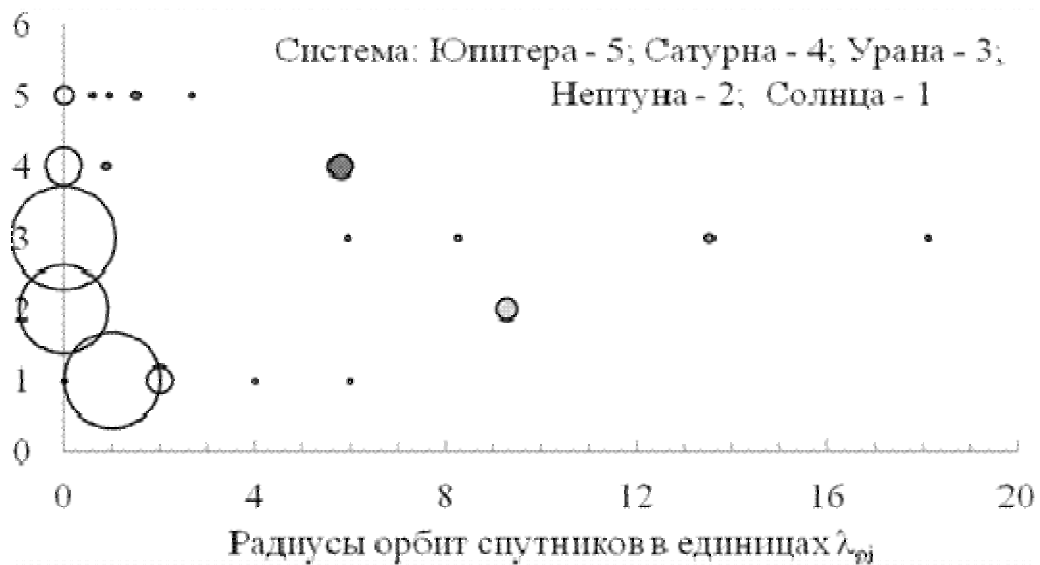


Рисунок 4. Планетные системы планет – гигантов и Солнца разнесены по ординате и представлены в сопоставимых единицах  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{01}$ . Планетной системе Юпитера соответствует ордината 5, Сатурна – 4, Урана – 3, Нептуна – 2, Солнца – 1. Вдоль оси ординат изображены размеры центральных планет в единицах  $\lambda_{01}$ . Остальные кружки изображают спутники, диаметр кружков которых пропорционален массе спутника в единицах  $\lambda_{01}$ , а их положение по оси абсцисс пропорционально их радиусу орбиты в единицах  $\lambda_{01}$ .

Из таблицы 6 (и рисунка 4) видно, что только радиус Юпитера меньше четверти

периода его собственной основной волны  $\lambda_{01}$ . Из-за большого радиуса планеты кольца Сатурна наблюдаются на краю атмосферы планеты, а у Урана и Нептуна кольца наблюдаются на «вершине» следующей волны. Соответственно происходит сдвиг орбит спутников этих планет в сторону больших радиусов. В случае системы Юпитера сдвиг орбит спутников наоборот, произошел в меньшую сторону почти в два раза по сравнению с солнечной системой.

Массы спутников планет – гигантов не демонстрируют какой-то явной зависимости от радиуса орбиты, подобной солнечной. Их суммарная масса составляет примерно 2 для Урана и для других планет - гигантов. По-видимому, такое равномерное распределение спутников по массам закономерно, так как потенциал Солнца существенно выше потенциалов планет – гигантов.

Не только величина орбитального момента, но и его проекция влияет на распределение масс спутников по орбитам, что видно по спутникам Урана. Однако и в этом случае следует учитывать преобладающее влияние потенциала Солнца. Также следует учесть, что массы спутников находятся на пределе масс, близком к минимальному значению, и не проявляют волновых свойств.

## Крупномасштабная структура Вселенной

Уравнение (4) демонстрирует пропорциональность массы тела и радиуса пространства, которое оно занимает:

(15)

В 1948 году Ф. Хойл вместе с Г. Бонди и Т. Голдом разработали Стационарную модель Вселенной, которая постулирует независимость процессов появления материи и расширения Вселенной. В отличие от постулатов Стационарной модели Вселенной эмпирическое уравнение (15) однозначно связывает образование массы и расширение пространства. При этом структура Вселенной сохраняется из-за

постоянства константы структуры . Возможно именно в постоянстве структуры следует рассматривать стационарность Вселенной.

Волновая природа поля объясняет независимость скорости света и скорости распространения гравитационного поля от систем отсчета. Тогда скорость света, как наибольшая по величине, определяет границу Вселенной, а ее радиус описывается уравнением:

(16)

Здесь - радиус Вселенной и  $t$  - текущий возраст Вселенной.

Эту идею расширения Вселенной предложил австралийский геолог С.У. Кэри [4] и он же объединил в одном уравнении закон тяготения Ньютона и закон растяжения Р. Гука.

Теперь зная закон изменения радиуса Вселенной по уравнению (16), получим закон ее расширения в самом общем виде:

(17)

Полученный закон расширения Вселенной распространяется не только на пространство между телами, но и на все космические тела (галактики, звёзды, планетные системы и сами планеты) в соответствии с уравнением (15).

Таким образом, закон Э. Хаббла является частным случаем свойств Вселенной, так как описывает только разбегание галактик в ограниченных пространственных и временных рамках.

До сих пор физик измерял линейкой линейный размер математического пространства, но сейчас подобное измерение может оказаться длиной волны, как в уравнении (15). Так как уравнение (15) отражает физическую суть новой компоненты гравитационного поля, то использовано обозначение - длина волны. В уравнении



(15) отношение радиуса Вселенной к длине ее гравитационной волны количественно неизвестно, поэтому использовано обозначение  $\lambda$ . Такой буквой обозначается линейный размер пространства. Физическая суть пространства, независимо от обозначения, остается прежней - это гравитационная волна, связанная с массой тела.

В теориях относительности эффекты появляются в результате математических преобразований одних систем отсчета относительно других и в них отсутствуют какие-либо физические обоснования или измеряемые физические законы. Для таких преобразований законы можно предполагать и делать это до бесконечности, пытаясь угадать замысел природы. Уравнение (15) как раз служит таким физическим законом, что позволило вычислить необходимые константы. В новом виде теория гравитации связана с волновой квантовой механикой и обосновывает связь классической механики с квантовой механикой.

Так как пространство имеет физическую основу по уравнению (15), то по уравнению (16) оно должно растягиваться вслед за границей Вселенной, а масса тел должна расти пропорционально расширению пространства.

Сделанные предположения получили подтверждение в устройстве Вселенной, в которой все наблюдаемые структуры связаны с константой  $K$  и имеют узкие дискретные распределения по массам и размерам.

Если тело имеет границы, то его можно представить частицей. Именно для Вселенной – частицы математики доказали ряд теорем сохранения (энергии, импульса, момента импульса, электрического заряда). Они решили также три задачи для сил управляющими Вселенной и показали, что закон силы может быть или законом тяготения Ньютона или законом Гука. Объединение этих сил позволяет говорить о пространстве как о физическом поле. Расширение Вселенной происходит в результате изменения длины волны гравитационного поля и роста массы, а не в результате взрыва и разлета вещества в пустом математическом пространстве.

Таким образом, модель Вселенной - частицы предоставляет очень простые законы: линейный рост линейных размеров космических тел и пространства между ними и линейный рост массы тел от возраста. При этом сохраняется структура Вселенной. Замкнутость космических тел в «ямах» собственных волн предполагает, что начальный элементный состав всех космических тел был одинаковым. Из этого условия также следует сохранение исходной структуры Вселенной в процессе ее эволюции. Если вспомнить определение квазара, то оно буквально соответствует указанным свойствам Вселенной.

В модели Вселенная – частица работают два закона силы (закон тяготения Ньютона и закон расширения Гука) и их влияние различно относительно скоростей двух взаимодействий: гравитационного –  $G$  и электромагнитного –  $C$ . Тогда крупномасштабную структуру Вселенной удобно классифицировать в соответствии с соотношениями скоростей расширения следующим образом:

- $G > C$  – системы связаны гравитацией (космические тела, системы планет и ассоциации звезд);

- – системы условно связаны гравитацией (скопления галактик разного уровня).

Если подставить в уравнение Кэри, объединяющее две силы, новые константы и идею Вселенной – частицы, то получим уравнение:

$$, \quad (18)$$

где  $V$  – скорость расширения объекта.

Первое слагаемое в скобке формулы соответствует закону тяготения Ньютона. Второе слагаемое в скобке учитывает расширение Вселенной (закон Гука). Относительная скорость в уравнении (18) стоит в степени 4, и эта степень определяет количество уровней иерархии крупномасштабной Вселенной в каждом диапазоне скоростей (и количество поколений частиц в микромире). Если все четыре

дроби равны единице, то получим уровень иерархии 1 – Вселенную в целом (таблица 8). Последовательная подстановка степеней, приводит к следующим уровням структуры по 5 включительно. Для галактики (уровень 4) скорость разбегания сопоставима со скоростью передачи гравитационного взаимодействия, поэтому существуют кратные галактики или галактики с сателлитами. На уровне 5 произведена замена всех четырёх степеней, поэтому звёздные ассоциации представляют собой кратные звёзды. Далее следуют космические тела. Если их размеры меньше собственной длины волны, то вокруг них существуют системы связанные гравитацией (например, солнечная система).

Связанные структуры и тела в процессе расширения сохраняются, но тела размером со временем рассыпаются. Уровень 9 является естественным ограничением минимальной массы космического тела.

Таблица 8. Размеры и массы крупномасштабных структур Вселенной.

Уровень	Название	Масса, г	Длина волны, см
1	Вселенная		
2	сверхскопление галактик		
3	скопление галактик		
4	галактика		
5	ассоциация звёзд		
6	звезда		
7	планета		
8	спутник планеты		

9	минимальный предел		-
---	--------------------	--	---

Космические тела расширяются, Луна удаляется от Земли, Земля удаляется от Солнца, но Солнечная система существовала более 10 млрд. лет и будет существовать дальше.

### Гравитация о структуре микромира

Атомы состоят из ядер и электронных оболочек. В свою очередь ядро включает протоны и нейтроны. Поскольку протоны и электроны обладают электрическими зарядами и массами (гравитационными зарядами), то можно предположить, что электромагнитное и гравитационное взаимодействие действуют в атоме на равных правах. Тогда скорость движения электрона в атоме будет связана со скоростями передачи электромагнитного и гравитационного взаимодействия вместе:

(19)

или

(20).

По данным современной науки скорость движения электрона по орбите в атоме оценивается величиной равной  $v$ , где  $k$  - постоянная тонкой структуры.

Атом включает гравитацию и электромагнитное поле, что объясняет отличие

величины  $\alpha$  от константы  $k$ . Отношение размеров атома к

длине волны излучения электронов также сопоставимо с  $\alpha$ . То есть, так же как в солнечной системе, вокруг ядра существует пространственная структура (электронная оболочка), и электрон движется по стационарным орбитам без излучения. Излучение света происходит только при изменении пространственного положения электрона в атоме, то есть при его переходе с одной орбиты на другую. Если электрический заряд не изменяется, то назовем такое пространственное преобразование изменением упаковки 1 уровня. С этим 1 уровнем упаковки связан фотон, законы светимости космических тел и эволюции звезд в частности [6].

Отличие частоты обращения электрона от частоты испущенного света связано с тем, что пространственная структура и соотношение масс протона и электрона обусловлена гравитацией, а свет является носителем электромагнитного взаимодействия. По этой причине и возникает коэффициент  $\alpha$ , который совпадает по физическому смыслу с постоянной тонкой структуры [7].

Таким образом, электромагнитное и гравитационное взаимодействие хорошо описывают атом. Максимально возможная энергия внешнего электрона невозбужденного атома (водорода) равна удвоенной энергии Ридберга и составляет:

$$эВ. \quad (21)$$

Если исходить из предложенной модели атома, то в ней квантуется только гравитационная составляющая скорости, которая входит в уравнение (21) в первой степени, тогда:

$$(22)$$

Здесь  $E_n$  – энергия внешнего электрона невозбужденного атома в начале каждого периода;  $n$  – целое положительное число, соответствующее номеру периода в таблице химических элементов;  $N$  – максимально возможное количество периодов.

Аналогично предложенному выше уравнению (21) для энергии связи в атоме оценим энергию связи ядра:

$$МэВ. \quad (23)$$

Эта формула предполагает, что нейтрон представляет собой более плотную пространственно упакованную систему, чем атом водорода.

В предлагаемой теории гравитации отстаивается мысль, что Вселенная определяется только двумя взаимодействиями вместе (гравитационным и электромагнитным). Так как нейтрон обладает только гравитационным зарядом (массой), а электрический заряд отсутствует, то в такой Вселенной он должен распадаться.

В макромире космические тела находятся в собственном пространстве и структуры образуются по уравнению (18) из-за «разрыва» самого волнового пространства. Преобразование пространства (изменение упаковки) в микромире связано с волновым носителем, который связан с уровнем упаковки. Фотон служит носителем 1 уровня упаковки. Когда уничтожается или появляется электрический заряд - нейтрино/антинейтрино. Известно три поколения нейтрино и им соответствуют следующие уровни упаковки 2, 3, 4 и поколения лептонов. С этими упаковками обязательно связана константа структуры в соответствующей степени в зависимости от их уровня. Вся эта иерархия упаковок в современной физике сопровождается «зарядами» и «поколениями».

В случае распада нейтрона происходит изменение пространственной упаковки (2 уровень) с появлением электромагнитного взаимодействия в новой структуре –

атоме водорода. Входящие в атом водорода элементарные частицы имеют оба заряда (гравитационный и электромагнитный) и поэтому являются стабильными.

По мере открытия все новых элементарных частиц ученые озаботились поиском эмпирических закономерностей распределения их масс и свойств. Отметим только те две закономерности, которые связаны с постоянной тонкой структуры.

В 1914 г. Г.С. Аллен предложил приближенную связь отношения масс электрона и протона с постоянной тонкой структуры [8]:

$$m_p/m_e \approx 1836 \cdot \alpha^2 \quad (24)$$

Сравним формулу (24) с отношением масс Юпитера и солнечной системы:

$$M_{\text{Юпитера}}/M_{\text{Солнца}} \approx 0.001 \cdot \alpha^2 \quad (25)$$

Коэффициент 2 в уравнении (25) появился потому, что на орбите может присутствовать одна планета, но два электрона на орбите в атоме.

Рассмотрим соотношения масс продуктов превращения нейтрона в атом водорода и сравним с соотношением масс объектов солнечной системы.

В таблице 9 в столбце количество уровней / теория приведено количество уровней, соответствующее аналогичному объекту в солнечной системе, а в столбце количество уровней / наблюдение – количество уровней, наблюдающееся у аналогичных объектов в атоме.

Как видно из таблицы 9 полученные выше соотношения масс в солнечной системе соответствуют соотношениям масс в атоме, причем согласие лучше, чем с использованием постоянной тонкой структуры.

Таблица 9. Сравнение количества уровней в элементах солнечной системы с количеством уровней элементов атома водорода.

	Масса, МэВ	Количество уровней	
		Теория	Наблюдение
	939.5654205	22351	-
	938.2720882	22321	22320.23
	1.2933323	30	30.767
	0.510998946	11	12.156

Таким образом, уравнение (25) отражает закон распределения масс центральное тело – спутник в гравитационном поле. Он справедлив в макромире на уровне солнечной системы и в микромире на уровне атома.

В 1952 г. Й. Намбу указал, что массы частиц тяжелее электрона можно описать

следующей эмпирической формулой [9]:  $m = m_e \cdot n^2$ , где  $n$  - целое число. В 1979 г. А.О. Барут используя идею Й. Намбу, что разности масс

пропорциональны  $1/n^2$ , предложил эмпирическую зависимость для масс лептонов [10]:

$$m = m_e \cdot n^2 \quad (26)$$

Здесь  $m_e$  для электрона,  $m_\mu$  для мюона и  $m_\tau$  для таона.

Идея линейной пропорциональности масс интересна, но более перспективной следует считать идею, в которой учитывается упаковка материи, так как вместе с ней имеется возможность обоснования времени жизни элементарных частиц, наличие ограниченного числа поколений и предел возможности наблюдения частиц в свободном виде (конфайнмент).

Построим зависимость массы лептона от коэффициента структуры в соответствующей степени, учитывая уравнения (21) и (23) и данные таблицы 9. Результат представлен в таблице 10, и он правильно отражает физическую суть в распределении масс лептонов по поколениям.

Для лептонов, также как и для крупномасштабной Вселенной, получено четыре уровня иерархии.

Во Вселенной каждая структура имеет определенные ограниченные размеры, и каждая последующая структура помещается в предыдущую. Предельная масса космических тел существует из-за того, что размеры тела превышают размеры поля, и поле не в состоянии удерживать тело в связанном состоянии. Ограничение количества поколений происходит по той же причине и объясняется ростом массы (таблица 10).

Невозможность наблюдения кварков объясняется тем, что они принадлежат уже другой Вселенной с другими фундаментальными взаимодействиями и другой константой структуры.

Таблица 10. Расчет масс лептонов по гравитационным соотношениям.

Лептон	Наблюдаемая масса, МэВ	Коэффициент структуры	Расчётная формула	Расчётная масса, МэВ
Электрон	0.511			0.504
Мюон	105.658			106.65

Таон	1776.84			1844.2
------	---------	--	--	--------

Для оценки времени жизни лептонов и нейтрона также использована константа структуры и идея степенной зависимости константы от номера поколения. Результаты расчета и полученные эмпирические формулы представлены в таблице 11.

Таблица 11. Оценки времени жизни нейтрона и лептонов

Частица	Наблюдаемое время жизни, с	Формула для расчёта	Расчётное время жизни, с
Нейтрон	898		897
Электрон	стабилен	-	стабилен
Мюон			
Таон			

Согласие расчета с наблюдением достаточно хорошее, что позволяет использовать идею степени участия константы структуры в массе и времени жизни частицы для классификации элементарных частиц.

В современной физике популярна формула Ё. Коидэ [11], объясняющая распределение масс лептонов (а также масс нейтрино и кварков). Чисто математически такую формулу можно получить при наличии степенной зависимости коэффициентов пропорциональности и константы структуры в распределении масс лептонов, что отлично совпадает с результатом таблиц 10 и 11.

## Заключение

Для наглядности в таблице 12 сопоставим описание электромагнитного и гравитационного поля вместе, где в фигурные скобки заключены новые соотношения. Все приведенные здесь недостающие константы вычислены по наблюдательным данным.

Новая теория гравитации получена путем дополнения закона Всемирного тяготения второй волновой (в таблице 12 «магнитной») компонентой поля. Также как и для электромагнитного поля, скорость передачи гравитационного взаимодействия определяется константами, входящими в две компоненты поля.

Два фундаментальных взаимодействия обладают разными скоростями передачи поля, что определяет всю крупномасштабную структуру Вселенной и структуру микромира. Все компоненты структуры Вселенной описываются новой константой структуры, которая сопоставима с постоянной тонкой структуры по физическому смыслу.

Привычное для классической физики изучение траекторий движения сменилось исследованием структур в квантовой механике, а принцип неопределенности потребовался как критерий устойчивости орбиты. Новые понятия (уровень энергии, орбитальный момент, спин) появились в терминологии физиков благодаря дуализму - наличию волновых свойств у частиц, который связан с моментом количества движения, импульсом и вращением.

Новая квантовая теория гравитации будет полной, если дополнить ее по аналогии постоянной Планка, «константой гравитационного излучения» как момент импульса. Учитывая уравнения (2) и (4), получим:

(27)

Теорию электромагнитного поля также предложено дополнить моментом импульса из таблицы 12 (показана в круглых скобках).

Таблица 12. Константы электромагнитного и гравитационного поля.

Показатель поля	Взаимодействие	
	Электромагнитное	Гравитационное
Заряд		
Компонента потенциала		
Магнитная компонента		
Скорость распространения поля		
Момент импульса (спин)		
Константа структуры		

## Выводы

Новая компонента поля и три вычисленные константы преобразили классическую теорию тяготения до квантовой теории гравитации (таблица 12), что нарушило привычное приложение теорий. Если классическая теория гравитации описывала взаимодействие тел обладающих массой, то в новой теории необходимо учитывать скорость расширения (в максимуме скорость света) на каждом уровне, а таких уровней 9 (таблица 8).

На уровне солнечной системы потенциал центрального тела полностью определяет радиусы орбит и массы спутников (планет - гигантов).



У частиц в микромире также имеется масса, поэтому атомы и элементарные частицы также описываются гравитацией, но на каждом уровне по-разному, в зависимости от упаковки. Количество уровней упаковки ограничено, поэтому существует предельный уровень упаковки, после которого частицы в свободном виде не наблюдаемы.

К распределению масс продуктов распада нейтрона на атом водорода применен закон распределения масс в солнечной системе и показано, что классификация элементарных частиц может быть выполнена на основе новой теории гравитации и новой фундаментальной константе структуры.

В законе распределения масс более массивное тело определяет массы и орбиты своих спутников (рисунок 3). В атоме электрические заряды протона и электрона одинаковы по величине, поэтому именно гравитация описывает атом с участием электромагнитного поля.

#### Литература:

1. Курков А.А. Эмпирическая теория Вселенной: монография. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 84 с.
2. Курков А.А. Введение. Физика структур // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10 (часть 4). – С. 615-623.
3. Курков А.А. Пространство – переносчик гравитационного взаимодействия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 10. – С. 35-37.
4. Carey W.S. Theories of the Earth and Universe: A History of Dogma in the Earth Sciences. – Stanford (California): Stanford University Press, 1988.
5. Курков А.А. Излучение света космическими телами – свойство вселенной // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 6. – С. 70-74.
6. Курков А.А. Гравитация в микромире // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 5. – С. 58-62.
7. Allen H.S. Numerical Relationships between Electronic and Atomic Constants // Proceedings of the Physical Society of London. – 1914. – Vol. 27. – P. 425-431.
8. Nambu Y. An empirical mass spectrum of elementary particles // Progress in Theoretical Physics. – 1952. – Vol. 7, № 5. – P. 595-596.
9. A.O. Barut. Lepton mass formula // Phys. Rev. Lett.. – 1979. – Т. 42. – С. 1251.
10. Koide Y. New view of quark and lepton mass hierarchy // Phys. Rev. D 28, 252 (1983).

# ФИЗИКА, ХИМИЯ

## РАСЧЕТ ДЕТОНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА ТКХ-50 И ПАРАФИНА

**Голубев Владимир Константинович**

Кандидат физико-математических наук, доцент  
Нижний Новгород; Университет Людвига-Максимилиана, Мюнхен  
Независимый эксперт; приглашенный ученый

**Ключевые слова:** композиционный энергетический материал; взрывчатое вещество ТКХ-50; дигидроксиламмоний 5,5'-бистетразол-1,1'-диолат; парафин; детонационные характеристики; продукты детонации

**Keywords:** compositional energetic material; high explosive TKX-50; dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate; paraffin; detonation characteristics; detonation products

**Аннотация:** Выполнены расчеты детонационных характеристик энергетического композиционного материала на основе взрывчатого вещества (ВВ) ТКХ-50 и парафина. С использованием программы термохимических расчетов EXPLO5 в диапазоне содержания парафина до 50 об.% получены зависимости таких характеристик материала, как скорость детонации  $D$ , давление детонации  $P$ , температура детонации  $T$ , показатель адиабаты продуктов детонации (ПД) в точке Жуге  $k$ , теплота взрыва  $Q$  и объем газообразных ПД  $V_g$  от массового содержания инертной добавки. Кроме того, для всех рассмотренных концентраций компонентов композиционного материала были определены составы образующихся в точке Жуге ПД и их эволюция в процессе разбавления ВВ инертной добавкой. В следующей серии расчетов получены детонационные характеристики двух энергетических композиционных материалов на основе ТКХ-50 с 5 и 10 мас.% парафина, который в этом случае выступал в качестве связующего. Рассматривались материалы, имеющие начальную пористость в пределах до 10%.

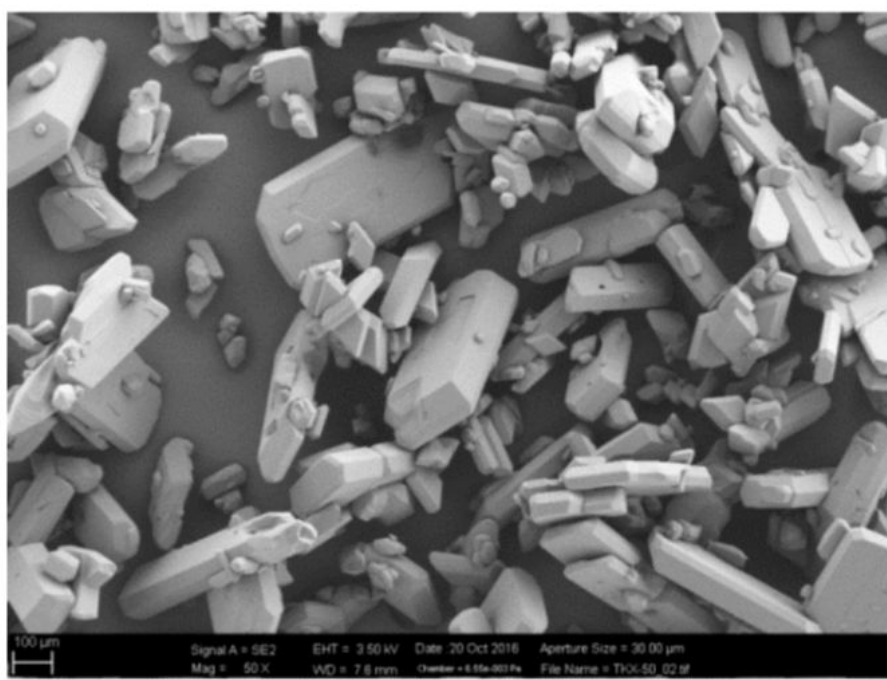
**Abstract:** Calculations of the detonation characteristics of energetic composite materials based on the TKX-50 explosive (HE) and paraffin have been performed. Using the EXPLO5 program of thermochemical calculations, the dependences of such material characteristics as detonation velocity  $D$ , detonation pressure  $P$ , detonation temperature  $T$ , adiabatic index of detonation products (DP)  $k$ , heat of explosion  $Q$  and the volume of gaseous DP  $V_g$  on the mass fraction of the inert additive were obtained in the range of paraffin content up to 50 vol.%. The compositions of the DP formed at the Jouguet point and their evolution during the dilution of the HE with an inert additive were determined for all the considered concentrations of the composite material components. The detonation characteristics of two energetic composite materials based on TKX-50 with 5 and 10 mas.% of paraffin, which in this case acted as a binder, were obtained too. Materials with an initial porosity of up to 10% were considered here.

**УДК 662.21****Введение и состояние вопроса**

Энергетический материал ТКХ-50 (дигидроксиламмоний 5,5'-бистетразол-1,1'-диолат) – это один из новых интересных энергетических материалов, разработанных в последние годы [1]. Он характеризуется сочетанием низких значений чувствительности к удару и трению с высокими значениями термической стабильности, плотности и скорости детонации, а также легким, недорогим синтезом и низкой токсичностью, что делает его довольно привлекательным в качестве высокоэффективного взрывчатого вещества (ВВ) с повышенной безопасностью. Интерес к ТКХ-50 был значительным с момента первого опубликования результатов по его синтезу и по определению его различных физико-химических свойств, и значительное число последующих работ многих исследовательских групп было посвящено дальнейшему изучению свойств этого энергетического материала, что подробно описано в обзорной работе [2]. Тем не менее, как ни странно, чрезвычайно малое число исследований посвящено экспериментальному изучению реальной работоспособности, прежде всего, детонационным характеристикам этого довольно перспективного в техническом плане ВВ.

Так, двумя группами исследователей при подробном описании условий проведения опытов были получены два совершенно различных экспериментальных значения основной энергетической характеристики ВВ – стандартной энтальпии образования  $\Delta_f H^\circ_s$ . В первом случае это значение составило сначала  $113.97 \pm 2.86$  кДж/моль, а затем  $111 \pm 16$  кДж/моль [3-5]. Во втором случае было получено и перепроверено значение  $194.1 \pm 0.9$  кДж/моль [6-8]. В трех случаях делались попытки экспериментального определения скорости детонации композиционных энергетических материалов на основе ТКХ-50 с различными связующими [9-11]. Здесь следует, прежде всего, отметить результаты, полученные в работе [9] и дополнительно приведенные в следующей работе [10]. Для пяти образцов, приготовленных из ТКХ-50 (НАТО по определению авторов работы) с добавлением 3 мас.% нейтрального связующего и имеющих размеры  $\varnothing 30 \times 30$  мм и плотности в пределах от 1.55 до 1.75 г/см<sup>3</sup>, проводились измерения скорости детонации. Полученная линейная зависимость скорости детонации от плотности экстраполировалась к значению предельной расчетной плотности используемого композиционного материала, равному 1.82 г/см<sup>3</sup>, и значение скорости детонации для этой плотности составило 9260 м/с. Далее, с использованием формулы Уризара, было достаточно корректно оценено значение скорости детонации ТКХ-50, которое составило 9432 м/с. Оказалось, что это значение скорости детонации хорошо согласуется с полученным для энтальпии образования экспериментальным значением 194.1 кДж/моль. В работе [12] при использовании этого значения энтальпии образования для расчетной скорости детонации ТКХ-50 было получено значение 9456 м/с.

Сам по себе материал ТКХ-50 по своей природе представляет собой соль, состоящую из довольно прочных зерен. На рис. 1 из работы [11] можно наблюдать морфологию этих зерен. Ширина поля зрения составляет здесь 2265 мкм. Было измерено распределение синтезированных зерен ТКХ-50 по размерам, и их средний размер составил 331 мкм.



**Рис. 1. Морфология частиц синтезированного энергетического материала ТКХ-50.**

Естественно, что в таком состоянии энергетический материал не может быть использован в качестве взрывчатого состава или твердого ракетного топлива, а должен быть скомпонован с использованием соответствующих наполнителей, прежде всего, связующих. В данной работе поставлена задача рассмотрения в качестве такого наполнителя парафина. Этот углеводород используется в качестве инертного связующего во взрывчатых составах, например [13], и особенно широко в качестве наполнителя-горючего в твердых ракетных топливах [14].

### Результаты расчетов и обсуждение

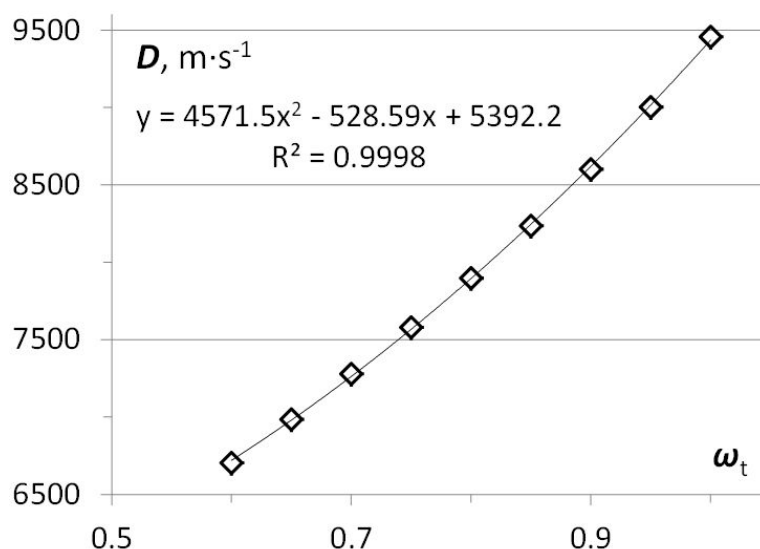
С целью исследования влияния добавок парафина на детонационные характеристики получаемого на основе ТКХ-50 композиционного энергетического материала было проведено две серии расчетов. В первой, которую в некотором смысле можно охарактеризовать как методологическую, с использованием программы термодинамических расчетов EXPLO5 [15, 16] в диапазоне содержания парафина до 50 об.% получены зависимости основных детонационных характеристик материала от массового содержания инертной добавки. Этими характеристиками являются, прежде всего, скорость детонации  $D$ , давление детонации  $P$ , температура детонации  $T$ , показатель адиабаты продуктов детонации (ПД) в точке Жуге  $k$ , теплота взрыва  $Q$  и объем газообразных ПД  $V_g$ . В тех же термодинамических расчетах были определены составы образующихся в точке Жуге ПД и их эволюция в процессе разбавления ВВ инертной добавкой. Во второй серии расчетов, которую можно условно охарактеризовать как технологическую, получены детонационные характеристики двух энергетических композиционных материалов на основе ТКХ-50 с 5 и 10 мас.% парафина, который в этом случае выступал в качестве инертного связующего. Рассматривались материалы, имеющие начальную пористость в пределах до 10 %.

Используемые в термодимических расчетах свойства ТКХ-50 и парафина были следующими. Для плотности  $\rho_0$  и энтальпии образования  $\Delta_f H_s^\circ$  ВВ, как и в работе [12], брались значения  $1.877 \text{ г/см}^3$  и  $194.1 \text{ кДж/моль}$ , а химическая формула имела вид  $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}_4$ . Для парафина, который является нормальным линейным углеводородом с формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  и  $n > 20$ , свойства для расчетов подбирались на основании данных работ [14, 17] и некоторых других. Для плотности бралось значение  $0.90 \text{ г/см}^3$ , а для условного строительного блока парафинов  $\text{CH}_2$  значение энтальпии образования составляло  $-30.6 \text{ кДж/моль}$ .

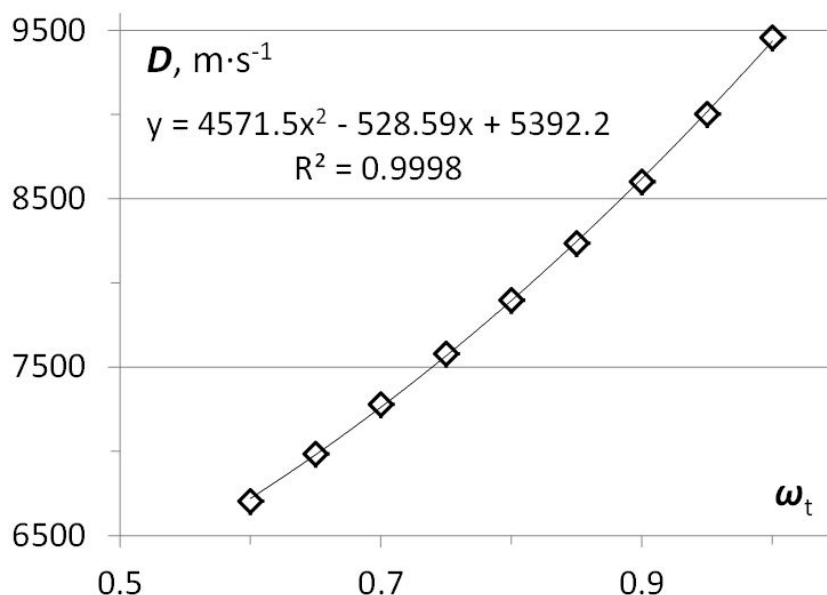
Принятому за граничное содержанию парафина в составе композиционного энергетического материала в 50 об.% соответствует такое же содержание в материале ВВ ТКХ-50. При переходе к массовому содержанию эти величины меняют свои значения на 32.4 и 67.6 мас.%. Поэтому в табл. 1 массовое содержание ВВ заканчивается значением  $\omega_t = 0.6$ , ну а массовое содержание парафина в этом случае определяется соответственно как  $\omega_p = 1 - \omega_t$ . Все рассчитанные детонационные характеристики для принятых к рассмотрению вариантов композиционного материала в зависимости от массового содержания компонентов приведены в табл. 1. Полученные зависимости для таких основных детонационных характеристик, как скорость и давление детонации, показаны на рис. 2, 3. На этих и всех последующих рисунках приведены также линии тренда и соответствующие им функциональные зависимости, что дает возможность легко получить необходимое значение функции для заданного аргумента.

**Табл. 1. Детонационные характеристики композиционного энергетического материала в зависимости от массового содержания ТКХ-50 и парафина**

ТКХ-50 Mass fraction	$\rho_0$ $\text{г/см}^3$	$D$ m/s	$P$ GPa	$T$ K	$k$	$Q$ kJ/kg	$V_g$ $\text{dm}^3/\text{kg}$
1	1.877	9456	37.02	3043	3.533	-4711	924.2
0.95	1.780	9002	31.89	2854	3.523	-4406	921.7
0.90	1.693	8602	27.65	2653	3.530	-4106	915.0
0.85	1.614	8236	24.12	2464	3.539	-3823	906.7
0.80	1.542	7898	21.31	2295	3.514	-3555	897.2
0.75	1.476	7579	18.66	2130	3.543	-3299	887.3
0.70	1.416	7278	16.56	1982	3.530	-3049	876.7
0.65	1.360	6985	14.67	1843	3.524	-2802	866.3
0.60	1.309	6705	12.91	1706	3.559	-2559	856.6



**Рис. 2. Влияние массового содержания компонентов на скорость детонации композиционного энергетического материала.**



**Рис. 3. Влияние массового содержания компонентов на давление детонации композиционного энергетического материала.**

Следующей рассмотренной задачей была задача об изменении детонационных характеристик энергетического материала ТКХ-50 при изменении его пористости. В табл. 2 все рассчитанные детонационные характеристики для материала ТКХ-50 приведены в зависимости от его объемного содержания в образце  $\varphi_t$  либо пористости  $\pi_t$ , которые связаны простым соотношением  $\varphi_t + \pi_t = 1$ .

**Табл. 2. Детонационные характеристики энергетического материала ТКХ-50 в зависимости от его объемного содержания (пористости)**

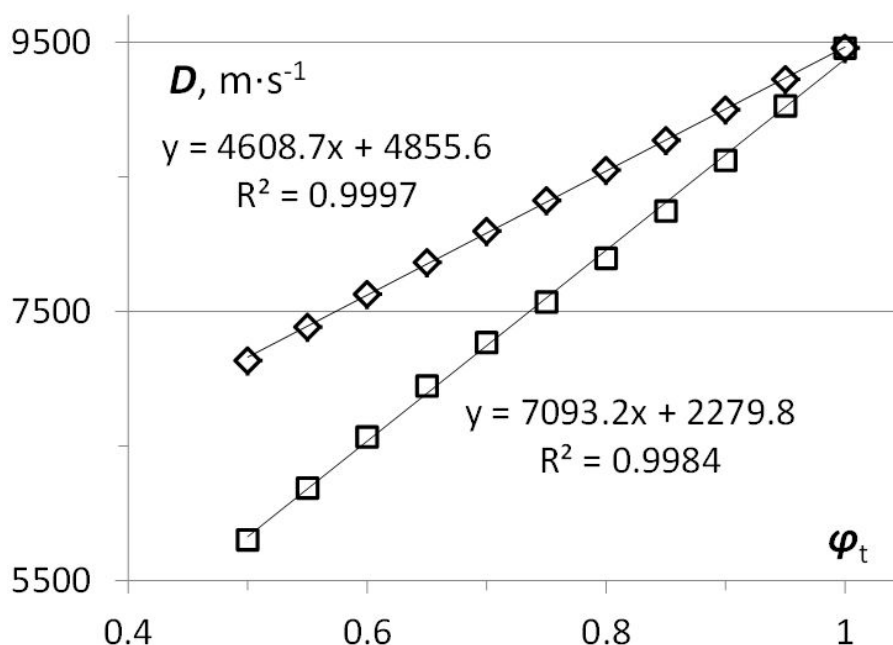
TKX-50 Vol fraction	$\rho_0$ g/cm <sup>3</sup>	$D$ m/s	$P$ GPa	$T$ K	$k$	$Q$ kJ/kg	$V_g$ dm <sup>3</sup> /kg
1	1.877	9456	37.02	3043	3.533	-4711	924
0.95	1.783	9028	33.06	3109	3.395	-4693	928
0.90	1.689	8623	29.05	3154	3.323	-4665	933
0.85	1.596	8246	25.91	3205	3.188	-4626	942
0.80	1.502	7896	23.03	3244	3.066	-4572	953
0.75	1.408	7571	20.49	3251	2.938	-4500	968
0.70	1.314	7270	18.11	3295	2.834	-4408	988
0.65	1.220	6948	14.79	3304	2.983	-4304	1056
0.60	1.126	6568	12.29	3275	2.952	-4234	1035
0.55	1.032	6187	10.14	3299	2.900	-4164	1056
0.50	0.939	5804	8.29	3328	2.815	-4100	1076

В табл. 3 рассчитанные детонационные характеристики для композиционного энергетического материала приведены в зависимости от объемного содержания компонентов, энергетического материала ТКХ-50 и парафина. Кстати, в таблице приводится оцифрованная взаимосвязь между объемным и массовым содержанием ВВ в композиционном материале. Ну а для определения объемного или массового содержания парафина, как обычно, используются элементарные соотношения  $\varphi_t + \varphi_p = 1$  и  $\omega_t + \omega_p = 1$ .

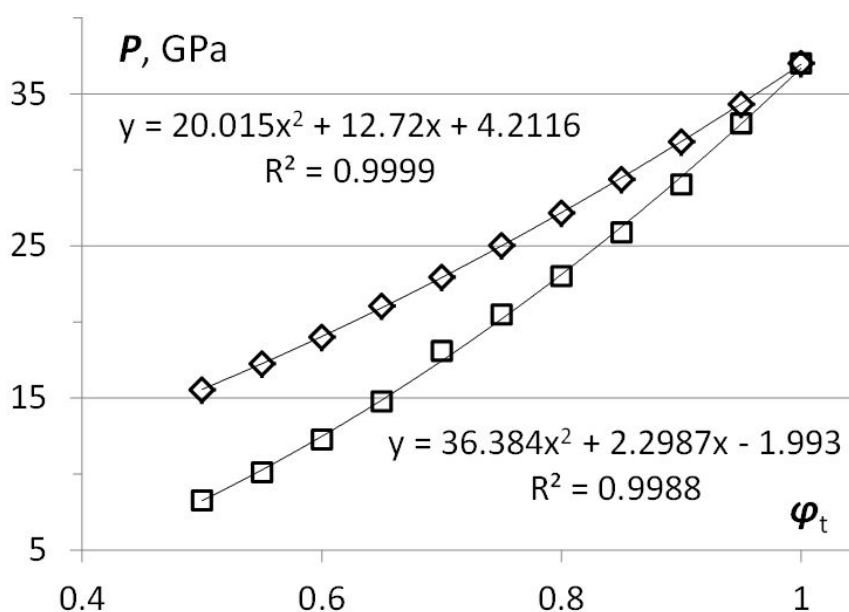
**Табл. 3. Детонационные характеристики композиционного энергетического материала в зависимости от объемного содержания ВВ и парафина**

TKX-50		$\rho_0$ g/cm <sup>3</sup>	$D$ m/s	$P$ GPa	$T$ K	$k$	$Q$ kJ/kg
Vol fraction	Mass fraction						
1	1	1.877	9456	37.02	3043	3.533	-4711
0.95	0.9754	1.828	9225	34.33	2953	3.531	-4563
0.90	0.9494	1.779	8998	31.85	2852	3.522	-4402
0.85	0.9220	1.730	8772	29.38	2740	3.530	-4236
0.80	0.8930	1.682	8551	27.18	2627	3.525	-4065
0.75	0.8622	1.633	8325	25.04	2512	3.519	-3890
0.70	0.8295	1.584	8096	22.95	2394	3.524	-3712
0.65	0.7948	1.535	7865	21.05	2278	3.510	-3528
0.60	0.7578	1.486	7628	19.01	2154	3.549	-3339
0.55	0.7182	1.437	7385	17.25	2034	3.543	-3140
0.50	0.6759	1.388	7134	15.55	1912	3.543	-2930

Зависимости полученных таким образом значений скорости и давления детонации от объемного содержания ВВ для пористого энергетического материала ТКХ-50 и для композиционного энергетического материала на его основе с парафином показаны на рис. 4, 5. Поскольку используемый наполнитель парафин является инертным, то химические процессы не должны вносить ощутимый вклад в весьма значительное увеличение этих характеристик. Так что эффект увеличения скорости и давления детонации обусловлен здесь исключительно заполнением пористости и приданием материалу определенной монолитности.



**Рис. 4.** Влияние объемного содержания ВВ на скорость детонации энергетического материала ТКХ-50 (квадраты) и композиционного энергетического материала с парафином на его основе (ромбы).



**Рис. 5.** Влияние объемного содержания ВВ на давление детонации энергетического материала ТКХ-50 (квадраты) и композиционного энергетического материала с парафином на его основе (ромбы).

Определенный интерес представляет и характер изменения состава ПД при изменении содержания компонентов в рассматриваемом композиционном энергетическом материале. Достаточно точное количественное экспериментальное определение состава ПД в точке Жуге практически нереализуемо, а расчетные методы термохимии позволяют определять его зависимости от содержания исходных компонентов не только в точке Жуге, но и в течение всего процесса

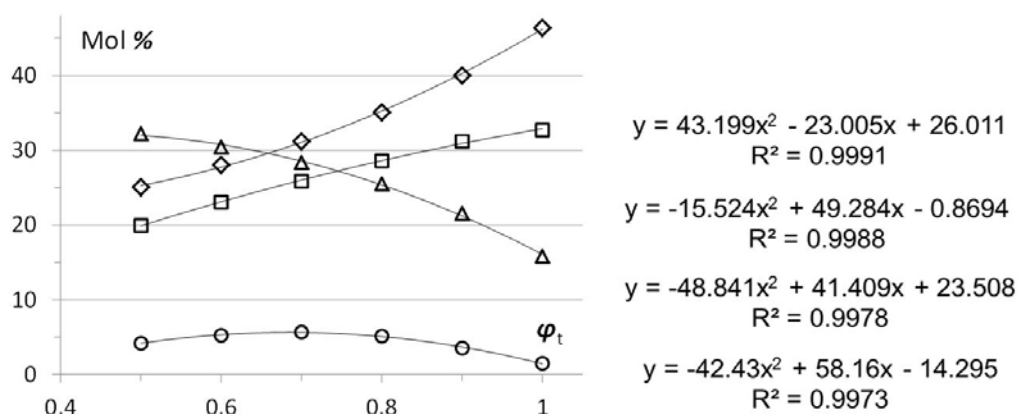


разгрузки вплоть до достижения атмосферного давления. В табл. 4 проведено сравнение составов продуктов детонации в точке Жуге для рассматриваемого композиционного энергетического материала при различном объемном содержании его компонентов. Для наглядности покажем поведение молярных составляющих некоторых наиболее значимых продуктов детонации, чье содержание, по крайней мере, превышает в общем составе 1 мол. %.

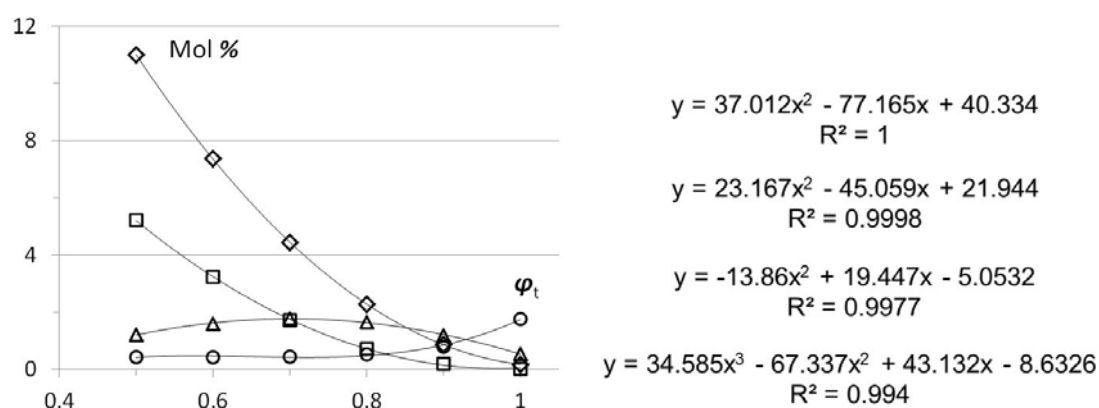
**Табл. 4. Состав продуктов детонации в точке Жуге для композиционного энергетического материала ВВ – парафин в зависимости от объемного содержания компонентов**

TKX-50 Vol fraction	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
Products	Mol %					
N <sub>2</sub>	46.4032	40.0258	35.0975	31.2126	28.0643	25.1012
H <sub>2</sub> O	32.7348	31.2101	28.5941	25.8767	23.0754	19.9603
C(s,d)	15.8278	21.5908	25.5216	28.3771	30.4601	32.2312
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1.7659	0.7990	0.5325	0.4469	0.4328	0.4377
NH <sub>3</sub>	1.4825	3.5574	5.1408	5.6952	5.2501	4.1956
CO	0.5538	0.3354	0.2622	0.2371	0.2348	0.2275
H <sub>2</sub>	0.5433	1.1938	1.6563	1.7834	1.5991	1.2147
CO <sub>2</sub>	0.4531	0.1568	0.1120	0.1236	0.1891	0.3476
CH <sub>4</sub>	0.1787	0.8719	2.2830	4.4446	7.3745	10.998
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.0244	0.2051	0.7287	1.7223	3.2401	5.2202
HCN	0.0240	0.0278	0.0245	0.0183	0.0116	0.0059
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.0055	0.0212	0.0418	0.0585	0.0648	0.0566
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.0024	0.0041	0.0033	0.0017	0.0006	0.0001
CH <sub>3</sub> OH	0.0004	0.0009	0.0014	0.0021	0.0028	0.0033
H	0.0001	0.0001	0.0001	0	0	0

На рис. 6 показаны зависимости молярного содержания или концентрации от объемного содержания ВВ в композиционном энергетическом материале для таких продуктов, содержание которых во всем рассматриваемом диапазоне  $\varphi_t$  превышает 1 мол. %. На рис. 7 подобные зависимости приведены для продуктов, содержание которых может быть ниже 1 мол. % при некоторых значениях  $\varphi_t$ . Приведенные на обоих рисунках функциональные зависимости для указанных линий тренда располагаются сверху вниз в последовательностях, указанных в подписях к рисункам. Отметим здесь только тот факт, что если в чистом ТКХ-50 основным продуктом является молекулярный азот в количестве 46.4 мол. %, то при равнодольном объемном содержании ВВ и парафина основным продуктом уже является твердый углерод в фазе алмаза в количестве 32.2 мол. %.



**Рис. 6. Влияние объемного содержания ВВ на концентрацию таких продуктов детонации, как азот (ромбы), вода (квадраты), углерод (треугольники) и аммиак (кружки).**



**Рис. 7. Влияние объемного содержания ВВ на концентрацию таких продуктов детонации, как метан (ромбы), этан (квадраты), водород (треугольники) и метановая кислота (кружки).**

В следующей серии расчетов все детонационные характеристики получены для двух энергетических композиционных материалов на основе ТКХ-50 с 5 и 10 мас.% парафина. В этом случае парафин выступает уже не как некоторый инертный наполнитель, а как вполне определенное инертное связующее для композиционных взрывчатых составов. Вот для этих составов и рассматриваются условия детонации в случаях, когда они имеют начальную пористость до 10 %. Первый из составов можно условно обозначить как 0.95ВВ–0.05парафин, а второй обозначить как 0.90ВВ–0.10парафин. Рассчитанные детонационные характеристики этих составов приведены в табл. 5, 6 в диапазоне их объемного содержания в образцах от 1.00 до 0.90, либо, что то же самое, в диапазоне пористости от 0 до 10 %.

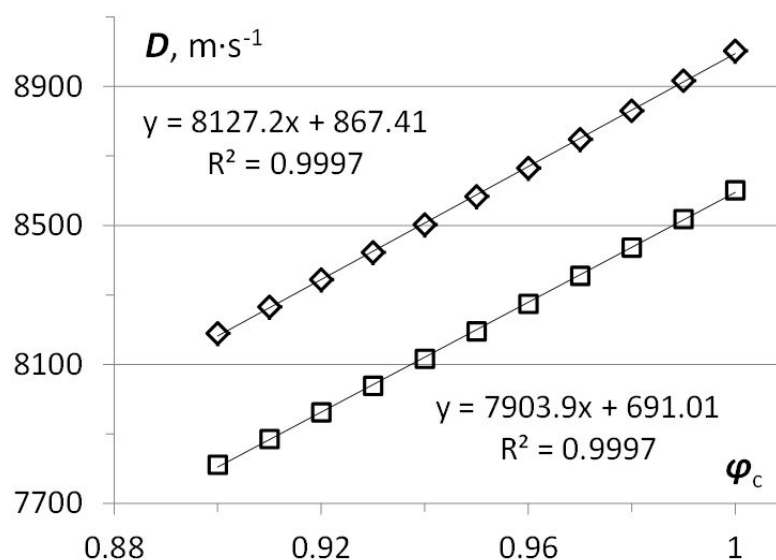
**Табл. 5. Детонационные характеристики композиционного взрывчатого состава 0.95ВВ–0.05парафин в зависимости от его объемного содержания (пористости)**

0.95T-0.05P Vol fraction	$\rho_0$ g/cm <sup>3</sup>	$D$ m/s	$P$ GPa	$T$ K	$k$	$Q$ kJ/kg	$V_g$ dm <sup>3</sup> /kg
1	1.780	9002	31.89	2854	3.523	-4406	921.7
0.99	1.762	8917	30.95	2859	3.527	-4404	922.5
0.98	1.744	8930	30.37	2874	3.478	-4401	923.2
0.97	1.727	8748	29.56	2880	3.470	-4398	924.0
0.96	1.709	8665	28.75	2887	3.462	-4394	925.0
0.95	1.691	8583	28.07	2896	3.438	-4391	925.9
0.94	1.673	8503	27.41	2905	3.412	-4387	926.9
0.93	1.655	8423	26.90	2919	3.366	-4382	927.9
0.92	1.638	8344	26.17	2924	3.357	-4378	929.2
0.91	1.620	8266	25.56	2933	3.331	-4372	930.4
0.90	1.602	8189	24.95	2941	3.306	-4367	931.7

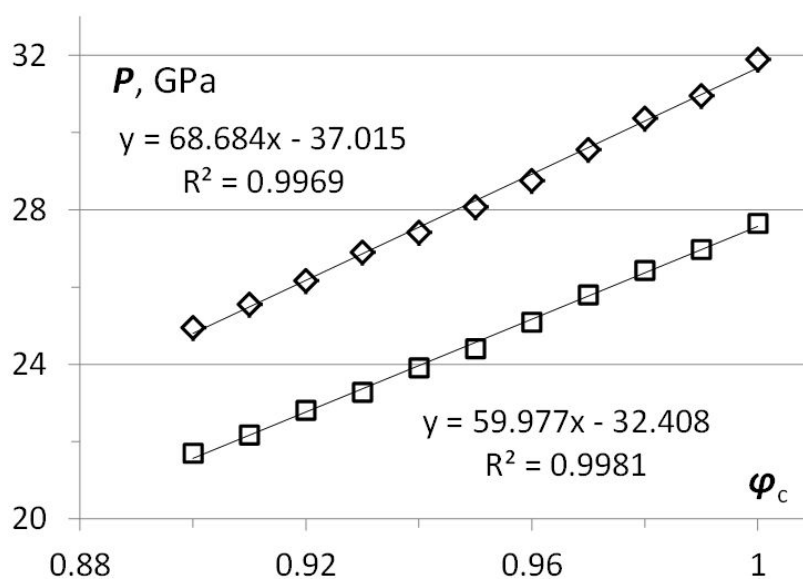
**Табл. 6. Детонационные характеристики композиционного взрывчатого состава 0.90ВВ–0.10парафин в зависимости от его объемного содержания (пористости)**

0.90T-0.10P Vol fraction	$\rho_0$ g/cm <sup>3</sup>	$D$ m/s	$P$ GPa	$T$ K	$k$	$Q$ kJ/kg	$V_g$ dm <sup>3</sup> /kg
1	1.693	8602	27.65	2653	3.530	-4106	915.0
0.99	1.676	8519	26.97	2661	3.509	-4104	916.0
0.98	1.659	8436	26.43	2673	3.467	-4102	916.9
0.97	1.642	8355	25.80	2681	3.443	-4100	918.0
0.96	1.625	8275	25.10	2686	3.434	-4098	919.1
0.95	1.608	8195	24.41	2691	3.426	-4095	920.4
0.94	1.591	8116	23.92	2702	3.383	-4092	921.5
0.93	1.574	8039	23.28	2707	3.370	-4088	922.8
0.92	1.558	7962	22.81	2717	3.329	-4085	924.0
0.91	1.541	7886	22.18	2721	3.320	-4080	925.5
0.90	1.524	7812	21.71	2730	3.283	-4076	926.9

Зависимости скорости и давления детонации указанных композиционных взрывчатых составов от их пористости показаны на рис. 8, 9. Здесь  $\varphi_c$  - это уже не объемное содержание ТКХ-50 в образце, а объемное содержание в образце конкретного взрывчатого состава.



**Рис. 8. Влияние объемного содержания (пористости) на скорость детонации композиционных взрывчатых составов 0.95ВВ–0.05парафин (ромбы) и 0.90ВВ–0.10парафин (квадраты).**



**Рис. 9. Влияние объемного содержания (пористости) на давление детонации композиционных взрывчатых составов 0.95ВВ–0.05парафин (ромбы) и 0.90ВВ–0.10парафин (квадраты).**

### Заключение

В результате выполненных термохимических расчетов для энергетического композиционного материала на основе взрывчатого вещества (ВВ) ТКХ-50 с различным содержанием инертного наполнителя парафина для всех рассмотренных случаев получены результаты по определению всех детонационных характеристик. В качестве таких основных характеристик прежде всего рассмотрены скорость и давление детонации. В диапазоне содержания парафина до 50 об.% получены зависимости детонационных характеристик от объемного и массового содержания

парафина и химические составы образующихся при взрыве продуктов детонации. Для двух композиционных энергетических материалов, фактически взрывчатых составов, с 5 и 10 мас.% парафина, выступающего в данном случае в качестве инертного связующего, определено влияние начальной пористости в пределах до 10 % на их детонационные характеристики. Полученные результаты дают довольно полную картину влияния добавок парафина на детонационные характеристики композиционного энергетического материала на основе ТКХ-50.

#### Литература:

1. Fischer N. Pushing the limits of energetic materials – the synthesis and characterization of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate / N. Fischer, D. Fischer, T.M. Klapötke, D.G Piercey, J. Stierstorfer // *J. Mater. Chem.* – 2012. – Vol. 22, Iss. 38. – P. 20418-20422.
2. Klapötke T.M. ТКХ-50: A highly promising secondary explosive // *Materials Research and Applications: Select Papers from JCH8-2019.* – Singapore: Springer Nature Pte Ltd., 2021. – P. 1-91.
3. Синдицкий В.П. Дигидроксиламмоний 5,5'-бистетразол-1,1'-диолат (ТКХ-50): прорыв или ошибка? / В.П. Синдицкий, С.А. Филатов, В.И. Колесов, К.О. Капранов, А.О. Супрун, А.Ф. Асаченко, П.Б. Джеваков, М.А. Топчий, М.С. Нечаев, В. В. Лунин, Н.И.Шишов // *Горение и взрыв.* – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 186-194.
4. Sinditskii V.P. Combustion behavior and physicochemical properties of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate (TKX-50) / V.P. Sinditskii, S.A. Filatov, V.I. Kolesov, K.O. Kapranov, A.F. Asachenko, M.S. Nechaev, V.V. Lunin, N.I. Shishov // *Thermochemica Acta.* – 2015. – Vol. 614. – P. 85-92.
5. Sinditskii V.P. Dihydroxylammonium 5,5'-Bistetrazole-1,1'-diolate (TKX-50): Physicochemical properties and mechanism of thermal decomposition and combustion / V.P. Sinditskii, S.A. Filatov, V.I. Kolesov, K.O. Kapranov, A.F. Asachenko, M.S. Nechaev, V.V. Lunin, N.I. Shishov // "Theory and Practice of Energetic Materials" Proc. 2015 Int. Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics. – Qingdao, Shandong, China: Beijing Institute of Technology, 2015. – P. 221-233.
6. Конькова Т.С. Термохимические свойства ТКХ-50 (дигидроксиламмоний-5,5'-бистетразолат-1,1'-диолат) / Т.С. Конькова, Ю.Н. Матюшин, А.И. Вахтина, Е.А. Мирошниченко, А.Ф. Асаченко, П.Б. Джеваков, Н.И. Шишов // *Успехи в специальной химии и химической технологии.* – М.: ДеЛи плюс, 2015. – С. 167-168.
7. Konkova T. S. Thermochemical properties TKX-50 (Dihydroxylammonium-5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate) / T.S. Konkova, J.N. Matjushin, E.A. Miroshnichenko, A.F. Asachenko, P.B. Dzhevakov // 47th Annual Conference (International) of ICT. – Karlsruhe, Germany, 2016. – P. 90/1-90/8.
8. Конькова Т.С. Энергетические свойства производных 1,2,4-триазола / Т.С. Конькова, Ю.Н. Матюшин, Е.А. Мирошниченко, М.Н. Махов, А.Б. Воробьев, А.В. Иноземцев // *Горение и взрыв.* – 2018. – Т. 11, №4. – С. 90-99.
9. Zhang W.P. Calculation of theory detonation velocity of dihydroxylammonium 5,5'-bistetrazole-1,1'-diolate / W.P. Zhang, F.Q. Bi, Y.S. Wang, Y.F Huang, W.X. Li, C.L. Wang, S.X. Zhao // *Chinese Journal of Explosives & Propellants.* – 2015. – No. 06. – P. 67-71.
10. Xing X.L. The detonation properties research on TKX-50 in high explosive / X.L. Xing, S.X. Zhao, X.F. Wang, W.P. Zhang, X.Q. Diao, W. Fang, W.X. Li // *Propellants Explos. Pyrotech.* – 2019. – Vol. 44, Iss. 4. – P. 408-412.
11. Gerber P. Properties of explosive charges based on TKX-50 // *Applied to 16th International Detonation Symposium.* – Cambridge, MD, USA, July 15–20, 2018.
12. Голубев В.К. Влияние заданного значения энтальпии образования на детонационные характеристики на примере энергетического материала ТКХ-50

[Электронный ресурс] // SCI-ARTICLE.RU. – 2021. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1613592890> (дата обращения: 10.03.2021).

13. Yu Y. Study on a novel high energetic and insensitive munitions formulation: TKX-50 based melt cast high explosive / Y. Yu, S. Chen, T. Li, S. Jin, G. Zhang, M. Chen, L. Li // RSC Advances. – 2017. – Vol. 7, Iss. 50. – P. 31485-31492.

14. Chemical Rocket Propulsion. A Comprehensive Survey of Energetic Materials / Eds L.T. DeLuca, T. Shimada, V.P. Sinditskii, M. Calabro. – Switzerland : Springer International Publishing, 2017. – 1069 p.

15. Sućeska M. Calculation of the detonation properties of C-H-N-O explosives // Propellants Explos. Pyrotech. – 1991. – Vol. 16, Iss. 4. – P. 197-202.

16. Sućeska M. EXPLO05. Version 6.04 User's Guide. – Zagreb, Croatia, 2017. – 174 p.

17. Prosen E.J., Rossini F.D. Heats of combustion and formation of the paraffin hydrocarbons at 25 C // J. Research NBS. – 1945. – Vol. 34. – P. 263-269.

## ФИЗИКА, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ N-ЛЕГИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА (TiO<sub>2</sub>-xNx) ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

**Нематов Дилшод Давлатшоевич**

кандидат технических наук

Таджикский технический университет, имени академика М.С. Осими  
Старший преподаватель кафедры физики

**Ключевые слова:** фотоэлектрические технологии; изменение климата; диоксид титана; легирование; электронные свойства; запрещенная зона; квантовомеханические расчеты; оптические свойства; солнечная энергия; солнечная батарея; видимый свет

**Keywords:** photovoltaic technologies; changing of the climate; titanium dioxide; alloying; electronic properties; forbidden zone; quantummechanical calculations; optical properties; solar energy; solar battery; visible light

**Аннотация:** Структурные и оптоэлектронные свойства N-легированной гексагональной фазы диоксида титана ((TiO<sub>2</sub>-xNx (0.06≤x≤0.25))) были изучены с реализацией квантовомеханических расчетов в рамках ТФП-Wien2k-mBJ. Рассчитанные структурные и электронные свойства N-легированного TiO<sub>2</sub> показывают, что размер этих наночастиц увеличивается, а ширина запрещенной зоны уменьшается с увеличением концентрации N, однако при x=0.25 начинается увеличение энергии запрещенной зоны. Показано, что, легирование N приводит к уменьшению фотонной энергии перехода и поглощению видимого света и, соответственно, к улучшению оптоэлектронных свойств наночастиц TiO<sub>2</sub> благодаря расширенному диапазону поглощения как в УФ и видимой области, так и для ИК – света за счет возникновения мелких 2p-состояния атомов N внутри запрещенной зоны. Эти превосходные характеристики делают TiO<sub>2</sub> перспективным материалом

для дешевые электролитические солнечные батареи для использования на массовом рынке.

**Abstract:** The structural and optoelectronic properties of the N-doped hexagonal titanium dioxide ( $\text{TiO}_2\text{-xNx}$  ( $0.06 \leq x \leq 0.25$ )) were studied using quantummechanical calculations in the framework of the DFT-Wien2k-mBJ. The calculated structural and electronic properties of N-doped  $\text{TiO}_2$  show that the size of these nanoparticles increases and the band gap decreases with increasing N concentration; however, at  $x = 0.25$ , the energy of the band gap begins to increase. It is shown that doping with N leads to a decrease in the photon energy of the transition and absorption of visible light and, accordingly, to an improvement in the optoelectronic properties of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles due to the extended absorption range both in the UV and visible regions and for IR light due to the appearance of shallow 2p states N atoms inside the forbidden band. These superior characteristics make  $\text{TiO}_2$  a promising material for low cost electrolytic solar cells for mass market use.

**УДК 538.9:538.94**

### **Актуальность**

Полупроводниковые материалы, на основе диоксида титана и их сплавы, обладают уникальными оптическими и электронными свойствами, которые широко используются для фотоэлектрических применений. В связи с этим в последние годы было проведено множество исследований по изучению их структурных, электронных и оптических свойств диоксида титана в структурах минералов рутила и анатаза. Достаточный объем работы был посвящен именно изучению электронных и поглотительных свойств этих материалов, однако, несмотря на многие работы, которым были посвящены последние годы, влияние легирования азота в гексагональной решетке наночастицы  $\text{TiO}_2$ , а также понимание многих фундаментальных электронных свойств гексагональной фазы  $\text{TiO}_2$  все ещё не изучено и по-прежнему является крайне актуальной и вместе с тем малоизученной темой.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы заключается в том, что с применением квантовомеханических расчётов в рамках теории функционала плотности (ТФП) с применением пакет Wien2k изучены особенности структурные, электронные и оптические свойства **гексагонального фазы** диоксида титана легированного N. Обнаружено, что оптимальный процент легирования азот (12.5 ат.%) заметно увеличивает поглотительную способность  $\text{TiO}_2$  в видимой области излучений, а также при этом эффективно снижает ширину запрещенной зоны с 3.2 до 2.4 эВ и любое дальнейшее увеличение концентрации, несмотря на изменение ширины запрещенной зоны, не приводит к дополнительному улучшению способность поглощению материала, что хорошо согласуется с существующими литературными данными для других фазах диоксида титана.

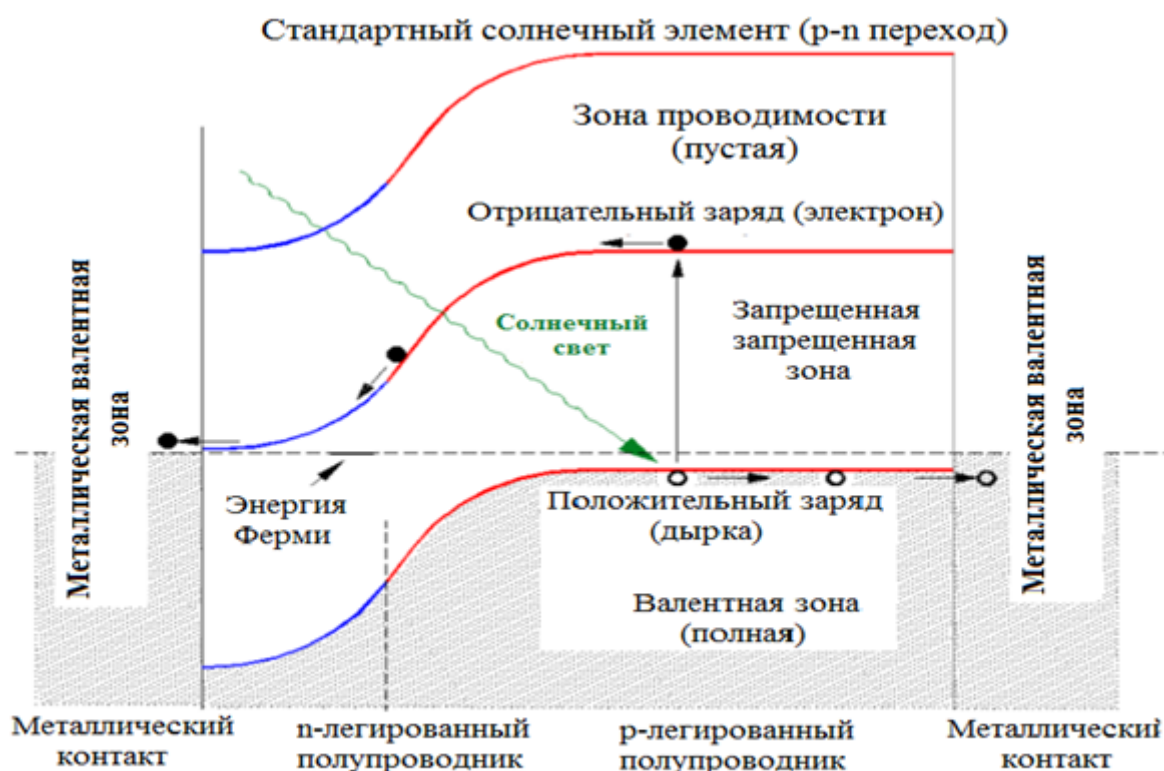
### **Введение**

Последние годы глобальные экологические проблемы становятся все более и более серьезными из-за серьезных загрязнений, особенно органических загрязнителей. Перспективным решением проблемы деградации загрязняющих веществ является

переход на использование альтернативных и возобновляемых источников энергии, например, преобразование солнечной энергии в электрическую, которая очень эффективна и экологична по сравнению со многими другими методами решения таких проблем. Для реализации этих целей используются оксиды и сульфиды металлов, такие как  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CdS}$  и т. п. Своего рода высокоэффективный, недорогой и стабильный поглотитель солнечных фотонов  $\text{TiO}_2$  среди них стал интенсивно изучаемым материалом и получил значительное внимание общественности и ученых благодаря своим исключительным свойствам, таким как высокий показатель преломления, превосходная эффективность фотоэлектрического преобразования, высокая диэлектрическая проницаемость, фотокаталитическая активность, фотостабильность и химическая стабильность, долговременная коррозионная стойкость, биосовместимость, большой коэффициент поглощения света и невысокая стоимость [1, 2]. Кроме того, существуют достаточно простые технологии производства фотокаталитических материалов на его основе. Поэтому наноразмерные пленки и порошковые структуры  $\text{TiO}_2$  широко используются для решения множества проблем, в частности для создания солнечных батарей и фотоколлекторов.

Принцип действия солнечных батарей на основе  $\text{TiO}_2$ , как другие солнечные панели, основан на квантовой теории проводимости, в то время преобразование солнечной энергии в электроэнергию основано на внутреннем фотоэффекте и генерации электронно-дырочных пар в полупроводнике. Как традиция солнечные панели создаются на базе **p-n**-перехода электронов в кристалле путем добавления небольших и различных дефектов в разные части кристалла; именно между этими областями возникают **p-n**-переходы электронов. На стороне **n** электрический ток переносят электроны, и на стороне **p** – дырками. Когда в материал попадают фотоны с достаточной энергией, эти фотоны выбивают электроны из атома и создают новую пару электрон-дырка (Рис.1). Освобожденные электроны быстро и непрерывно притягиваются к дыркам с другой стороны перехода. Дойдя до стороны **n**, они рекомбинируются с дырками. Этот процесс продолжается, пока светит Солнце или другой источник освещения.





**Рис. 1. Схема работы солнечных батарей, основанная на рекомбинации электронов и дырок**

С другой стороны, известно, что поглощение фотонов в полупроводниках сильно зависит от энергии запрещенной зоны. Фотоны могут быть поглощены солнечными панелями только в том случае, если энергия фотонов выше, чем энергия запрещенной зоны полупроводника.

Собственно, для чистого  $\text{TiO}_2$  характерны три недостатка, ограничивающие их практическое применение. Во-первых, ширина запрещенной зоны, чистый нелегированный  $\text{TiO}_2$  в зависимости от кристаллической фазы существования находится в диапазоне 3-3.2 эВ, что почти неактивен при облучении видимым светом, поэтому устойчивая солнечная энергия не может быть использована должным образом, и он проявляет значительную активность только при облучении ультрафиолетовым светом с длиной волны меньше 360 нм, а следовательно, проведение фотокаталитических реакций и преобразование солнечной энергии в электричество в солнечных батареях с применением чистого  $\text{TiO}_2$  требуют использования специальных источников с энергией УФ-излучения. Более того, известно, что солнечный свет состоит из 52% инфракрасного света (более 720 нм), 43% видимого света (360–720 нм) и всего 5% УФ-света (200–360 нм). То есть ультрафиолетовый свет занимает лишь небольшую часть солнечного света, и при этом большая часть солнечной энергии не может быть использована. Расширение спектра поглощения  $\text{TiO}_2$  в более длинных волнах (видимая область) реализуется методом модификации электронных и оптических свойств оксида титана, задача которого представляет большой практический интерес. Во-вторых, высокая скорость рекомбинации электронно-дырочных пар является неблагоприятным эффектом на поглотительную способность  $\text{TiO}_2$ , приводящая к низкой скорости квантового выхода и ограниченной скорости фотоокисления. В-третьих, низкая эффективность

разделения фотоносителей приводит к низкой эффективности преобразования. Все три ограничения имеют большое значение для широкого практического применения.

Чтобы преодолеть вышеупомянутые проблемы, за последние 5 лет было проведено множество исследований, основанных на идее расширения диапазона длин волн фотоактивации  $\text{TiO}_2$  в области видимого света и повышения эффективности использования солнечной энергии. Активирование и оптимизацию  $\text{TiO}_2$  видимым светом можно осуществлять путем имплантации ионов металлов, легирования неметаллических атомов или сенсбилизации  $\text{TiO}_2$  красителями. В связи с этим многие усилия были направлены на преодоление недостатков и оптимизацию поглотительной способности и фотокаталитических свойств  $\text{TiO}_2$ , особенно в диапазоне видимого света. Среди них ионное и катионное легирование с образованием дефектов структуры является эффективным подходом [2].

Возможность применения этих подходов именно связано с тем, что энергетические уровни таких дефектов могут располагаться в запрещенной зоне, так что поглощение света дефектами (примесное поглощение) возможно и в более длинноволновой области [3]. Во многих работах было показано, что модифицированный  $\text{TiO}_2$  обладает большей эффективностью по сравнению с чистым  $\text{TiO}_2$ , однако эффективность преобразования зависит от многих других параметров, таких как концентрация легирующей добавки, энергетические уровни добавки в решетке диоксида титана, распределение допирующих атомов в элементарной ячейке и т.д. [4]. По литературным данным [4], присутствие иона металла в матрице оксида титана значительно влияет на спектр поглощения, скорость рекомбинации носителей заряда и на их динамику, на поверхности. При допировании ионами металлов часто наблюдается батохромный эффект (возникновение дополнительных уровней в запрещенной зоне). Допирование ионов, имеющих устойчивую конфигурацию, такими как  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$ ,  $\text{Ru}^{3+}$  и  $\text{Os}^{3+}$ , приводит к сужению запрещенной зоны или появлению дополнительных энергетических уровней, которые улучшают перенос зарядов на поверхность полупроводника и способствуют поглощению видимого света за счет улучшения оптоэлектронных свойств.

Для  $\text{TiO}_2$ , допированного неметаллическими элементами в анионные позиции, в большинстве случаев наблюдается повышение поглотительной способности в видимой области спектра, в то время как активность при УФ-облучении падает. Например, стало известно, что C, S, F и N - допированный диоксид титана проявляют значительно более высокую активность, по сравнению с чистым  $\text{TiO}_2$ , и среди них N является наилучшим кандидатом (допантом) для оптимизации  $\text{TiO}_2$  видимым светом (Рис. 2).

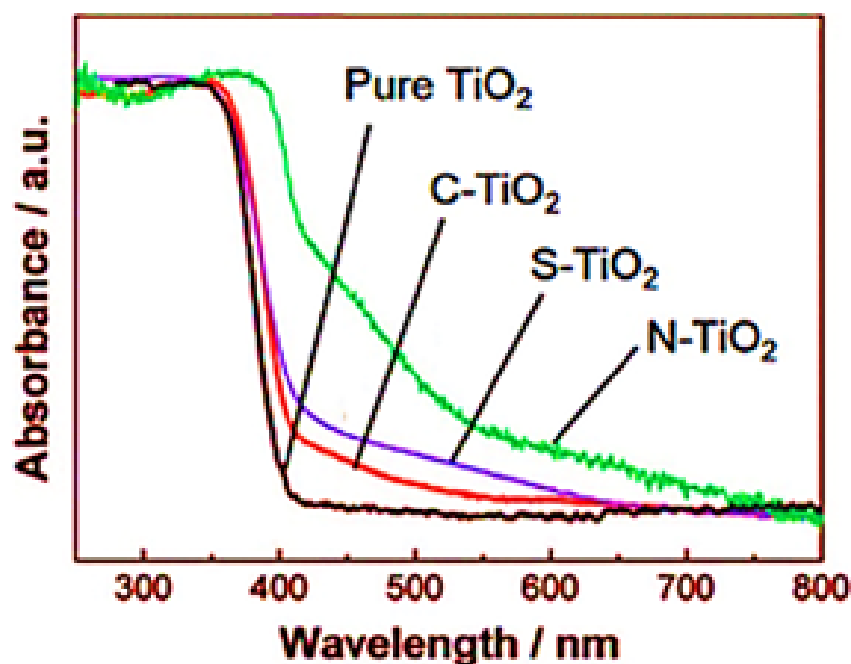


Рис. 2. Спектры поглощения чистого  $\text{TiO}_2$ , C, S и N-легированного  $\text{TiO}_2$  [4]

С другой стороны, включение (легирование) азота в решетку  $\text{TiO}_2$  в отличие от добавления других примесей осуществляется наиболее простыми физико-химическими методами, такими как шаровая мельница, химическое осаждение из паровой фазы, метод прямой низкотемпературной нитридации, осаждение атомных слоев, распыление, плазменная или ионная имплантация, золь-гель метод, сольвотермический метод, гидротермальный метод, прямой гидролиз органических / неорганических солей и окисление нитрида или пернитрида титана (источник азота, обычно используемый для синтеза  $\text{TiO}_2$ ). Среди них наиболее распространенным и эффективным способом является прямой синтез  $\text{TiO}_2$  в среде азота или кислородная обработка пернитрида титана ( $\text{TiN}_2$ ), где совсем недавно американским химикам удалось синтезировать его метастабильную фазу [5].

Достаточное количество работы было посвящено допированию азотом в анионные позиции ячейки  $\text{TiO}_2$  (в структуре анатаз), в ходе которых стало известно легирование азотом позиции, титан смещает край поглощения в область более низких энергий и увеличивает способность поглощения материала в видимой области за счет уменьшения ширины запрещенной зоны [6]. Более того, было выявлено, что легирование азота в позиции кислорода является весьма оптимальным подходом из-за сопоставимого размера атома, небольшой энергии ионизации, а также стабильности и диоксида титана, допированного в позиции кислорода, имеет мелкие донорные и акцепторные уровни соответственно над зоной проводимости и валентной зоной из-за кислородной вакансии [6] и  $\text{TiO}_2$  (в структуре анатаз и рутил), содержащий азот в междоузлиях кристаллической решетки имеет изолированные примесные уровни в запрещенной зоне. В [7] было показано, что легирование приводит к модификации поверхности за счет присоединения азота к интерактивным силам, таким как диполь-дипольные взаимодействия, силы Ван-дер-Ваальса или электростатические взаимодействия. Чтобы прояснить механизм легированного  $\text{TiO}_2$ , крайне необходимо объяснить и понять процесс легирования азота, метод легирования и химию образования дефектов, особенно физику уровней энергии и

появление электронных вакансий в орбитах атомов кислорода, вызванных введением легирующих добавок.

Несмотря на многие работы, которым были посвящены последние годы, влияние легирования азота в гексагональной решетке наночастицы  $\text{TiO}_2$  все ещё не изучено и по-прежнему является крайне актуальной и вместе с тем малоизученной темой.

## 2. Исследуемые материалы и вычислительные методы

Создание оптимального материала требует усиления или подавления каких-либо свойств в существующем материале и невозможно без использования современных экспериментальных и теоретических подходов. Чтобы получить желаемый результат, мы должны построить полезную вычислительную модель, которая тщательно описывает электронные свойства материалов. Однако при этом необходимо изучить атомарную структуру веществ для получения материалов с заданными свойствами. В результате предоставляется возможность контролирования и надстройки свойств таких материалов.

Для изучения свойств материалов на атомарном уровне и анализ их электронной структуры обычно используются атомно-силовая микроскопия, оптическая спектроскопия, дифракционные методы, электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия и другие экспериментальные методы. Несмотря на это, в настоящее время существуют хорошо разработанные экспериментальные методы, еще невозможно обойтись без привлечения теоретических подходов и компьютерных моделирований. Проблема в том, что черно-белые снимки атомной структуры веществ, которые получаются в эксперименте, являются очень трудно понятыми, и не легко определить какому цвету принадлежит тот или иной объект. С другой стороны, моделирование позволяет «предсказывать» и «прогнозировать» нужные значения ряда структурных и оптоэлектронных свойств материалов и веществ, при решении задачи которых требуются большие затраты для привлечения экспериментального измерения. Поэтому очень удобно с начала и перед экспериментом определить необходимые значения конкретной величины с помощью модельных и теоретических исследований.

Диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) и азотлегируемые нанокристаллы  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ ) относятся к интересному классу полупроводниковых оксидных материалов, которые в настоящее время широко используются для создания тонкопленочных полевых транзисторов и высокоэффективных солнечных панелей. Однако, несмотря на растущее внимание этого нового материала, очень мало известно об электронных и структурных свойствах, особенно гексагональных фазах этого соединения. Проблема в том, что перед экспериментом над исследованием их свойств необходимо синтезировать эти материалы. Однако выращивание наночастиц  $\text{TiO}_2$  и  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  с **требуемыми размерами** и объем для проведения экспериментов – процесс трудоемкий. Поэтому целью данной работы стало квантово-химическое исследование их геометрических, электронных и структурных свойств для нахождения закономерностей, возможных особенностей в спектральных зависимостях показателей преломления и поглощения, а также выявления целесообразности дальнейшего экспериментального исследования электронных и оптических свойств этих кристаллов.

В статье посредством расчетов из первых принципов впервые предсказываются структурные электронные и оптические характеристики N – легированной

гексагональной фазы  $\text{TiO}_2$ . Кристаллическая структура этой гексагональной фазы  $\text{TiO}_2$  состоит из метастабильных слоев  $\text{TiO}_2$  (пространственная группа  $P6_3M / MC$ ), аналогичных графиту. Наши расчеты выполняются на основе данных о кристаллической решетке вещества в виде cif-файлов, полученных и упакованных из экспериментальных измерений, таких как рентгеноструктурный анализ (X-Ray). Данные о кристаллической решетке  $\text{TiO}_2$  в природном виде были взяты из американской кристаллографической базы данных сайта Materials Project [8].

Далее, нами были выполнены квантовомеханические расчеты в рамках ТФП и применено обменно-корреляционное приближение mBJ с использованием пакета Wien2k. В качестве исследуемого объекта была выбрана гексагональная элементарная ячейка  $\text{TiO}_2$ . Для реализации процесса легирования следует учитывать равновесие заряда системы и / или оптимизацию геометрической структуры, особенно уровень легирования или концентрацию легирующего вещества и его распределение. После оптимизации положения атомов в элементарной ячейке форма и объем элементарной ячейки могут изменяться. Согласно ТФП и опции пакета Wien2k каждый атом окружен сферой Маффтина (Muffitin; MT) и при этом общее пространство делится на две области. Одна область состоит из внутренней части этих неперекрывающихся сфер, а вторая часть пространства имеет форму промежуточной области. Радиус сферой Маффтина ( $R_{\text{MT}}$ ) для Ti, O и N был принят, соответственно,  $1.87a_0$ ,  $1.69 a_0$  и  $1.72a_0$ , где  $a_0$  является Боровским радиусом. При этом плоская волновая функция может быть определена как функция атомного типа в любой атомной сфере и описывается базисом плоской волны в промежуточных положениях. Валентные волновые функции внутри MT-сферы раскладывались до  $l_{\text{max}} = 10$  (максимальный порядок сферической гармоники, используемый в разложении), а плотность заряда раскладывалась в ряд Фурье до  $G_{\text{max}}$  (бор<sup>-1</sup>) (граница суммирования по векторам обратной решетки).

Отсечка плоской волны  $K_{\text{max}}$  была выбрана равной  $3.0 R_y^{1/2}$  ( $R_y$  – энергия Ридберга), чтобы изолировать атомные ядра от валентных состояний.

Для достаточно хорошей сходимости в параметрах полной энергии кристаллической решетки вся оптимизация атомной геометрии гексагональной элементарной ячейки  $\text{TiO}_2$  была выполнена в первой зоне Бриллюэна с использованием k-точек, сгенерированных разнообразными параметрами сетки  $2 \times 2 \times 1$  (96 атом; 32 атом титана и 64 атом кислорода) по схеме Монкхорста – Пака (MP) [9], настроенными на энергию отсечки 400 эВ. Условием сходимости самосогласованных вычислений являлась неизменность полной энергии системы с точностью до 0.0001 mRy, а сходимость заряда достигала - 0.001 |e|, где e заряд электрона.

### **3. Методика описания структурных, электронных и оптических свойств системы $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$**

#### *3.1. Структурные свойства $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$*

Геометрическая структура гексагонального  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  ( $0,06 \leq x \leq 0,25$ ) исследовалась в рамках ТФП с использованием расширенного пакета плоских волн WIEN2k [10]. Оптимизация геометрии была проведена за счет релаксации всех позиций атомов в ячейке и формы ячейки. Определение структурной спецификации неизбежно для описания структурного поведения материалов. Определяются структурные параметры, то есть постоянная решетки ( $a_0$ ), модуль объемного сжатия (B) и

производная по давлению модуля объемного сжатия ( $B'$ ). Полная энергия (в Ry или эВ) элементарной ячейки для каждого соединения была рассчитана путем изменения объема элементарной ячейки и нанесена на график в зависимости от соответствующих энергий для оптимизации. Уравнение состояния Мурнагана используется для вычисления объемных модулей и постоянных решетки. Уравнение состояния Мурнагана предполагает, что объемный модуль упругости изменяется обратно пропорционально давлению [11].

Математическая форма уравнения состояния Мурнагана дается в виде

$$P(v) = \frac{B}{B'} \left[ \left( \frac{V_0}{V} \right)^{B'} - 1 \right] \quad (1)$$

$$(v) = \frac{B}{B'} \left[ \left( \frac{a_0}{a} \right)^{3B'} - 1 \right], \quad (2)$$

где  $P(v)$  - давление,  $B$  - объемный модуль,  $B'$  - производная по давлению от объемного модуля ( $B' = (\partial B / \partial P)_T$ ),  $V_0$  и  $a_0$  - равновесный объем и постоянная решетки, то есть когда система находится в релаксирующем состоянии. Электрон-электронная корреляция при оптимизации системы была выражена с помощью приближения обобщенного градиента (GGA), предложенного Пердью, Бекке и Эрнцхофом (GGA – PBE) [12].  $k$ -точечная сетка  $2 \times 2 \times 1$  была выбрана в зоне Бриллюэна по схеме Монкхорста – Пака (MP) [9]. Обрезка плоской волны была выбрана равной 400 эВ.

### 3.2. Электронные свойства $TiO_{2-x}N_x$

Расчеты электронной структуры в рамках ТФП после оптимизации геометрии были выполнены с использованием полнопотенциального расширенного пакета плоских волн и локальной орбиты, WIEN2k [13], где модифицированный потенциал Беке – Джонсона (mBJ), предложенный Траном и Блахом (TB–mBJ) [14], использовался для функционала электрон-электронной корреляции. ТФП - это квантовый подход, основанный на первых принципах вычислений, предложенных Хоэнбергом, Коном и Шэмом [15, 16]. Преимущество метода заключается в том, что он не полагается на какие-либо экспериментальные параметры. Идея метода заключается в замене взаимодействующей электронной системы фиктивной невзаимодействующей электронной системой, которая дает такую же плотность электронов, как и взаимодействующая система. Уравнение Кона - Шэма [15], основанное на двух теоремах Хоэнберга и Кона [16] для вычисления гамильтониана (полной энергии) многоэлектронной системы, начинается с написания уравнения Шредингера в виде:

$$\left( \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + E_{ion}(r) + E_h(r) + E_{xc}(r) \right) \psi_i(r) = E \psi_i(r) \quad (3)$$

Здесь  $E_{ion}(r)$  - ионный потенциал (сумма потенциалов электрон-электронного, электрон-протонного (ядерного) и протон-протонного взаимодействия),  $E_h(r)$  - потенциал Хартри,  $E_{xc}(r)$  - обменно-корреляционный потенциал. Последние 2 потенциала рассчитываются как:

$$E_h(\mathbf{r}) = e^2 \int \frac{\rho(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} d\mathbf{r}' \quad (4)$$

$$E_{xc}(\mathbf{r}) = \frac{\delta \epsilon_{xc}[\rho(\mathbf{r})]}{\delta \rho(\mathbf{r})}, \quad (5)$$

где  $\rho(\mathbf{r})$  - является функционалом электронной плотности.

Хоэнберг и Кон в 1964 в рамках ТФП показали, что функционал электронной плотности  $\rho(\mathbf{r})$ , для нормализованного определяется как:

$$\rho(\mathbf{r}) = N \int d^3 r_2 \dots \int d^3 r_N \psi^*(\vec{r}, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n) \psi(\vec{r}, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n) \quad (6)$$

Для плотности основного состояния  $\rho_0(\mathbf{r})$  можно в принципе рассчитать соответствующую волновую функцию основного состояния  $\psi_0(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N)$ , где N - количество электронов. Другими словами  $\psi$ , является уникальным функционалом от  $\rho_0(\mathbf{r})$ .

$$\psi_0 = \psi(\rho_0) \quad (7)$$

Таким образом, функционал плотности определяется как:

$$\rho(\mathbf{r}) = \sum_{\substack{i=\text{занятые} \\ \text{состояния}}} \psi_i^*(\mathbf{r}) \psi_i(\mathbf{r}) \quad (8)$$

В рамках ТФП-Wien2k для соответствующей  $\rho(\mathbf{r})$  сначала вычисляются  $E_h$  и  $E_{xc}$ , а затем идёт решение уравнения Шредингера (уравнение 3). Затем из собственных состояний ( $\psi_i(\mathbf{r})$ ) функционал электронной плотности ( $\rho(\mathbf{r})$ ) рассчитывается по уравнению 8.

Потенциал обменной корреляции электронов ( $E_{xc}$ ) для неинтерактивной электронной системы может быть получен из энергии, в которой функционирует только электронная плотность. Во многих работах было показано, что обменно-корреляционный потенциал Беке и Джонсона, предложенный Траном и Блахом (ТВ-mBJ), дает точную и экспериментально сопоставимую оценку ширины запрещенной зоны [17–22] по сравнению с известными приближениями, такими как GGA. Потенциал Беке и Джонсона определяется следующим уравнением:

$$E_{xc}^{mBJ}(\mathbf{r}) = c E_x^{BR}(\mathbf{r}) + (3c - 2) \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{5k(\mathbf{r})}{6\rho(\mathbf{r})}}, \quad (9)$$

где  $k(\mathbf{r})$  - плотность кинетической энергии согласно уравнению Кона – Шэма,  $\rho(\mathbf{r})$  – плотность, зависящая от спина электронов и  $E_x^{BR}$  - обменный функционал Беке-

Русселя (BR) [23]. Параметр  $c$  предлагалось определять самосогласованно в зависимости от плотности электронов, как:

$$c = \alpha + \beta g^p, \quad (10)$$

Где

$$g = \frac{1}{V_{cell}} \int \frac{|\nabla \rho(r')|}{\rho(r')} d^3 r' \quad (11)$$

Параметры уравнения 10 были приняты как  $\alpha = -0.012$ ,  $\beta = 1.023$  Бор<sup>1/2</sup> и  $p = 1/2$  после минимизации средней абсолютной погрешности ширины запрещенной зоны широкого диапазона твердых тел [24].

Как показывают результаты ряда последних теоретических исследований, обменно-корреляционный потенциал ТВ-mBJ в настоящее время является наиболее точным полулокальным методом для прогнозирования запрещенной зоны. Хотя этот потенциал не может быть использован для расчета сил, действующих на ядра, как обязательных для оптимизации геометрии, и единственное достоинство mBJ заключается в преодолении недооценки ширины запрещенной зоны и получении значения, соответствующие экспериментальным полученным результатам.

При расчете электронных и оптических свойств радиусы Muffin-сферы для Ti, O и N нами были установлены равными 1.87  $a_0$ , 1.69  $a_0$ , а для N – 1.72  $a_0$  ( $a_0$ -радиус Бора). Отсечка плоской волны  $K_{max}$  была выбрана равной 3.0 Ry<sup>1/2</sup>. Для всех расчетов электронных свойств по схеме Монкхорста – Пака (MP) размер  $k$ -точечной сетки составлял 2 × 2 × 1.

### 3.2. Оптические свойства $TiO_{2-x}N_x$

Вычисленные оптические параметры, такие как коэффициент поглощения и показатели преломления, показывают какой тип отклика будут проявлять эти материалы, когда на них будут падать фотоны. Оптические свойства материалов в основном исследуются с помощью их действительной ( $\epsilon_1$ ) и мнимой ( $\epsilon_2$ ) частей диэлектрических функций. Действительная часть показывает накопленную энергию материала, которую можно выдавать при нулевой энергии или пределе нулевой частоты, и которая считается внутренней характеристикой любого материала.

С другой стороны, имея значение  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  с использованием формулы 12, 13 и 14 несложно вычислить и расшифровать ряд других оптических констант для системы  $TiO_{2-x}N_x$ . Математические выражения для расчета оптических параметров задаются следующими уравнениями:



$$n = \sqrt{\varepsilon_1} \quad (12)$$

$$k = \sqrt{\varepsilon_2} \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{4\pi}{\lambda} k \quad (14),$$

где  $n$ ,  $k$  и  $\alpha$ , соответственно, являются показателем преломления коэффициентов экстинкции и поглощения.

#### 4. Интерпретация полученных результатов

##### 4.1. Структурные (размерные) свойства системы $TiO_{2-x}N_x$

Точное описание структурного поведения материалов неизбежно потребует определение ряда структурных характеристик, таких как оптимизированные параметры решетки ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), объем ( $V$ ), углы между векторами решетки ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) и другие геометрические параметры. Суть оптимизации системы заключается в минимизации объема и нахождения локального минимума энергии (минимизации энергии), а также стабильных координат атомов в элементарной ячейке кристаллической решетки. Рассчитанные оптимизированные  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $V$  для всех членов семейства  $TiO_{2-x}N_x$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Значение структурных параметров системы  $TiO_{2-x}N_x$  ( $0.06 \leq x \leq 0.25$ )**

Система ( $TiO_{2-x}N_x$ )	Параметры элементарной ячейки, Å			Объем системы, Å <sup>3</sup>
	a	b	c	
$TiO_2$	5.88715	5.88715	8.90667	267.3350
$TiO_{1.96}N_{0.06}$	5.90229	5.92791	8.99898	272.5836
$TiO_{1.88}N_{0.12}$	5.94531	5.93095	9.09053	277.8219
$TiO_{1.82}N_{0.18}$	5.94727	5.93951	9.77190	299.0431
$TiO_{1.75}N_{0.25}$	5.96138	5.93721	9.85019	302.3236

Поскольку ионный радиус иона N больше, чем ионный радиус O, объем элементарной ячейки, как показано в таблице 1, увеличивается квазилинейно с увеличением концентрации N и свидетельствует о том, что изменение объема подчиняется закону Вегарда.

##### 4.2. Электронные свойства системы $TiO_{2-x}N_x$

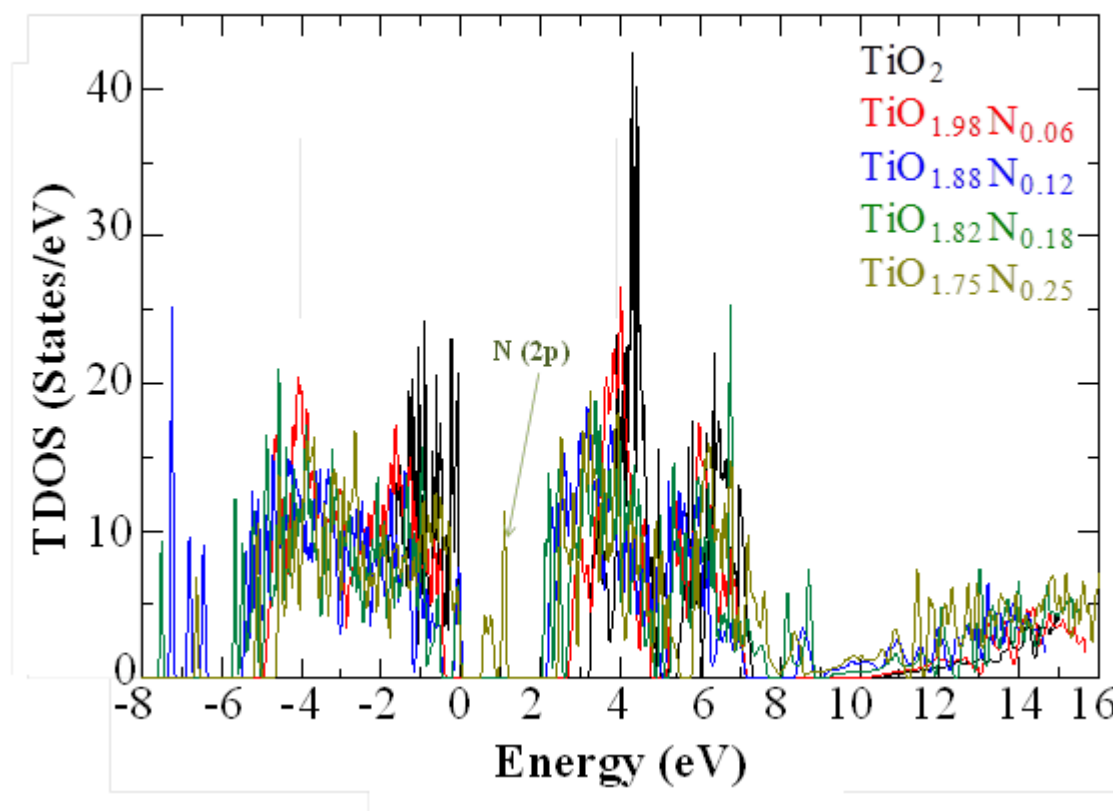
Электронные свойства системы  $TiO_{2-x}N_x$  нами были исследованы в виде зависимости энергии запрещенной зоны от плотности электронных состояний (DOS) в элементарной ячейке, поскольку понимание их формирования считается жизненно важным для разработки и изготовления оптоэлектронных, магнитооптических и магнитоэлектронных устройств. На этой основе нами были вычислены

энергетические запрещенные зоны для всех членов семейства  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  в зависимости от концентрации азота и приведены в таблице 2. Рассчитанные значения энергии запрещенной зоны  $E_g$  для нелегированной гексагональной фазы  $\text{TiO}_2$  имеют хорошую корреляцию с результатами группы китайских ученых под руководством Ли [24] и свидетельствуют о правильности и корректности наших расчетов в рамках ТФП.

**Таблица 2. Результаты расчетов ширины запрещенной зоны для системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  ( $0.06 \leq x \leq 0.25$ )**

Система ( $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ )	Ширина запрещенной зоны, эВ
$\text{TiO}_2$	3.228
$\text{TiO}_{1.96}\text{N}_{0.06}$	2.253
$\text{TiO}_{1.88}\text{N}_{0.12}$	2.171
$\text{TiO}_{1.82}\text{N}_{0.18}$	2.068
$\text{TiO}_{1.75}\text{N}_{0.25}$	2.417

Оптимизация электронных свойств за счет уменьшения ширины запрещенной зоны имеет решающее значение для применения  $\text{TiO}_2$ , особенно для фотоэлектрических применений. На рисунке 3 показаны графики общей плотности состояний (TDOS) для всех членов системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  в зависимости от ширины запрещенной зоны.

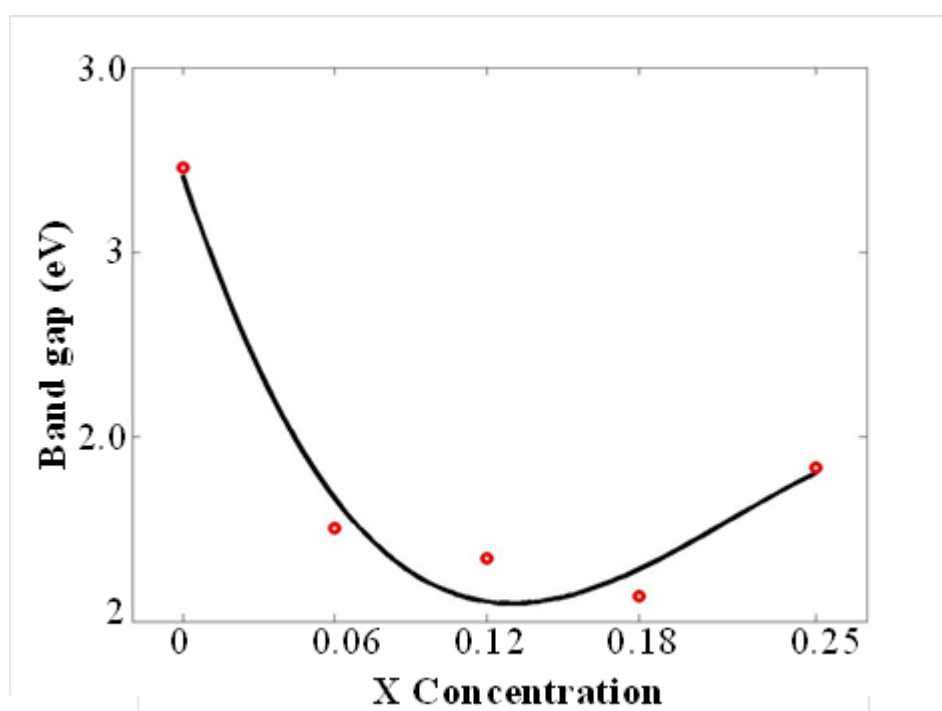


**Рисунок 3. Общая плотность состояний (TDOS) системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$**

Уменьшение плотности электронных состояний для N-легированных систем в сравнении с чистым  $\text{TiO}_2$  означает уменьшение вакансии в их внешних электронных орбитах. Для нелегированного  $\text{TiO}_2$  замечается высокая степень плотности состояний

в сравнении с другими системами. Расчеты электронных свойств N-легированного  $\text{TiO}_2$  показывают, что с увеличением концентрации азота ширина запрещенной зоны имеет тенденцию к уменьшению, однако при определенном критическом проценте ( $x=0.25$ ) начинается увеличение энергии запрещенной зоны, а некоторые 2p-состояния атомов N лежат внутри запрещенной зоны, и эти мелкие (глубокие) состояния внутри запрещенной зоны приводят к уменьшению фотонной энергии перехода и поглощения видимого света.

В конечном итоге, можно добавить, что энергия запрещенной зоны сильно зависит от концентрации атомов азота. Рисунок 4 показывает, что ширина запрещенной зоны уменьшается за счет увеличения содержания N. Другими словами, можно сказать о том, что, контролируя содержание N, ширина запрещенной зоны может быть настроена так, чтобы приблизиться к оптимальной ширине запрещенной зоны.



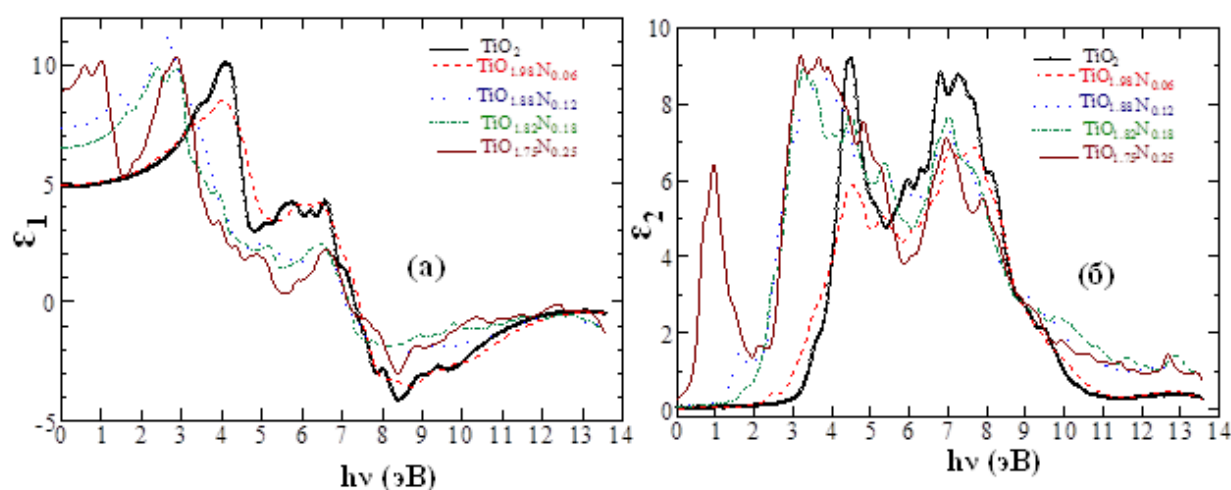
**Рисунок 4. Изменение ширины запрещенной зоны системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  по отношению к составам (концентрация N).**

Как показано на рисунке 4, величина запрещенной зоны от концентрации имеет нелинейную зависимость в соответствии с полученными результатами, то есть для системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  ширина запрещенной зоны сначала из-за увеличения радиуса, замещающего ионы (N), уменьшается, а потом резко увеличивается. Выражение  $E_{\text{BG}} = 48,235x^2 - 14,888x + 3,1546$  является эмпирической формулой, оценивающей данную закономерность, и было получено при аппроксимации методом наименьших квадратов. Результаты наших предварительных расчетов показали, что при очередном увеличении концентрации азота (более 13 ат.%) замечается металлическое поведение  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ . Результаты показывают, что оптимальный уровень азота (12.5 ат.%) эффективно снижает ширину запрещенной зоны  $\text{TiO}_2$  с 3.2 до 2.4 эВ и что любое дальнейшее увеличение легирования азотом не оказывает никакого дополнительного эффекта на ширине запрещенной зоны. Подобное поведение также было обнаружено в работе [25], в которой авторы

экспериментально обнаружили, что оптимальный процент легирования азотом в структуре анатаз составляет 1.2 мас.%, и слишком низкое или высокое легирование азотом приводит к неэффективному поглощению видимого света, а также к быстрой рекомбинации носителей заряда, что может привести к плохим и неожиданным свойствам. Легирование ионами может вводить новые энергетические уровни, чтобы уменьшить энергию запрещенной зоны и повысить абсорбционную способность  $\text{TiO}_2$ , особенно при облучении видимым светом. Кроме того, скорость электронно-дырочной рекомбинации может быть эффективно снижена благодаря образованию сайтов захвата заряда посторонними ионами.

#### 4.3. Оптические свойства системы $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$

Оптические свойства исследуемого соединения ( $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$ ) объясняются с помощью их действительной ( $\epsilon_1$ ) и мнимой ( $\epsilon_2$ ) частей диэлектрических функций. Действительная часть показывает накопленную энергию материала, которую можно выдавать при нулевой энергии или пределе нулевой частоты, и которая считается внутренней характеристикой любого материала. Оптические свойства системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  были рассчитаны с использованием пакета WIEN2k. На рисунках 5 (а) и 5 (б) показаны действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  соответственно для всего семейства исследуемых систем.

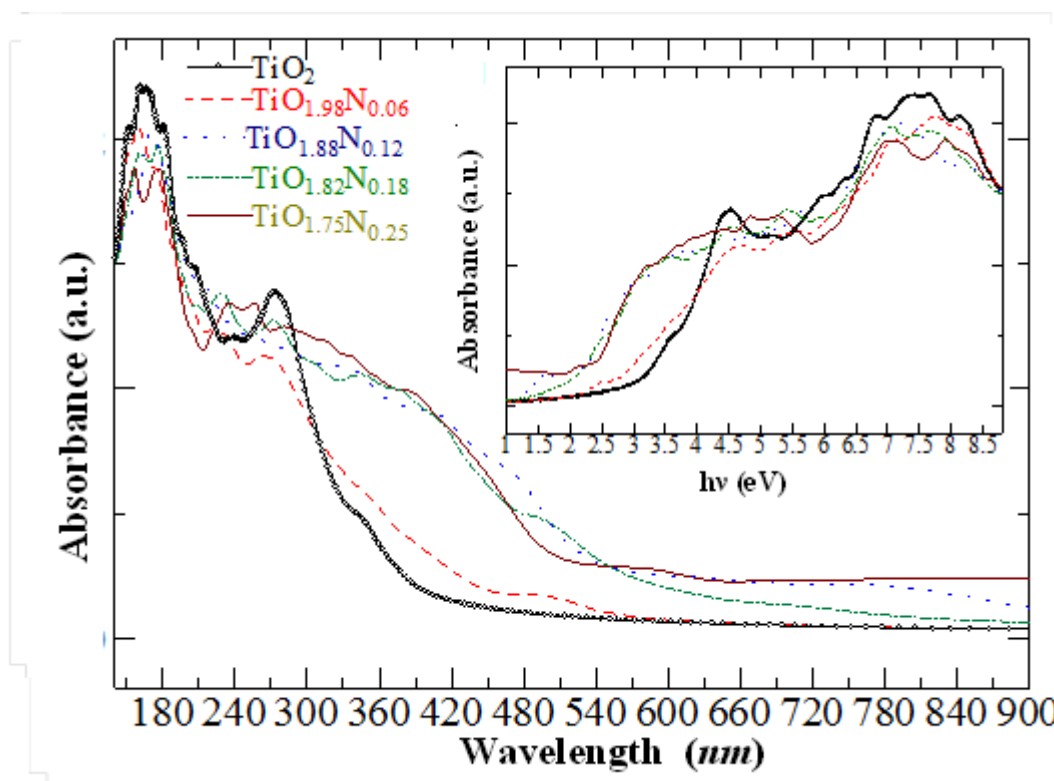


**Рисунок 5 (а, б).** Действительная (а) и мнимая часть (б) диэлектрической проницаемости нанокристаллов системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$

Рис. 5(а) показывает, что материалы проявляют металлическое поведение при достаточно высоких энергиях падающих фотонов. Отрицательное значение  $\epsilon_1$  указывает на то, что система имеет металлическую природу. То есть при этом можно исследовать и оценивать металличность соединения по его реальной функции. В этом случае оптическая запрещенная зона имеет обратную связь между ними. С другой стороны, мнимая часть  $\epsilon_2$  представляет собой поглощающую способность; поведение функции  $\epsilon_2$  для материалов должно демонстрировать увеличение энергии, что подходит для фотоэлектрических приложений. По сути, это дает нам информацию о том, как материал реагирует на возмущения, вызванные

электромагнитным излучением, и напрямую зависит от их зонной структуры. Значение  $\epsilon_2$  для выбранных систем указывает на то, что эти материалы могут поглощать максимальное количество энергии в широком диапазоне энергий фотонов и по совпадению могут удерживать эту энергию.

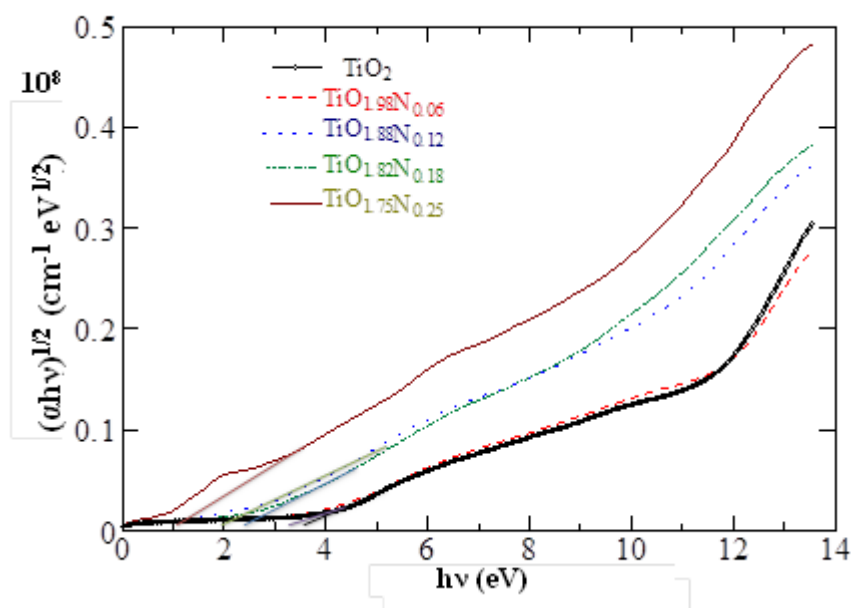
Коэффициент поглощения ( $\alpha$ ) определяет, насколько глубоко в материале поглощается свет с определенной длиной волны и зависит от внутренних свойств материала. Имея значения  $\epsilon_2$  с использованием формулы 12, вычислены и построены графики зависимостей коэффициентов, поглощение света от длины волны и энергии падающих фотонов (Рис. 6).



**Рисунок 6. Графики зависимости коэффициента оптического поглощения ( $\alpha$ ) от длины волны для системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$**

Согласно рисунку 6 азотлегированный  $\text{TiO}_2$  проявляет более высокую активность как в УФ, так и в видимом свете по сравнению с нелегированным  $\text{TiO}_2$  из-за улучшенного светового отклика в диапазоне от 360 до 720 нм при сужении запрещенной зоны. Для  $\text{TiO}_2$ , легированного 12,5 ат.%, активность наблюдается также при ИК-излучении. Согласно результатам все образцы показывают край поглощения между 540 и 720 нм из-за возбуждения электронов из валентной зоны в зону проводимости  $\text{TiO}_2$ . С увеличением содержания N в  $\text{TiO}_2$  наблюдается не только поглощающая способность в видимой области света, но и красное смещение края поглощения в инфракрасной области. Это оптическое поглощение свидетельствует о сильном взаимодействии между атомами  $\text{TiO}_2$  и N, что приводит к увеличению поверхностного электрического заряда  $\text{TiO}_2$  за счет атомов N, которое, с другой стороны, полезно для легкости переноса заряда между  $\text{TiO}_2$  и N. Следовательно, это приводит к увеличению способности  $\text{TiO}_2$  поглощать свет в видимой области, что является отличным аспектом для способности солнечных панелей собирать свет.

Наконец, чтобы выяснить влияние различного содержания азота на оптические свойства  $\text{TiO}_2$ , определим оптическую ширину запрещенной зоны всех систем  $\text{TiO}_2 \cdot x\text{N}_x$ . Типичная ширина оптической запретной зоны рассчитывалась с использованием функций Кубелки - Мунка  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  (где  $\alpha$  - коэффициент поглощения) как функции энергии фотона ( $h\nu$ ). Расчетная оптическая ширина запрещенной зоны согласно графику зависимости  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  от энергии была ниже, чем у чистого  $\text{TiO}_2$ , что связано с легированием азотом путем смешивания состояний N (2p) и O (2p) азота и  $\text{TiO}_2$  (Рис.7).



**Рис. 7. График зависимости  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  от энергии фотонов**

Оптическая ширина запрещенной зоны определяется путем нанесения касательного пересечения к оси  $x$  на графике, и в рамках наших расчетов она уменьшается с 3,3 до 1,15 эВ с увеличением содержания азота в элементарной ячейке  $\text{TiO}_2$ . Расчетная оптическая ширина запрещенной зоны (Рис. 7) также убедительно свидетельствует о поглощении видимого и инфракрасного света по сравнению с нелегированным  $\text{TiO}_2$ .

Оптические исследования показали, что легирование ионами азота приводит к увеличению длины волны края поглощения и уменьшению энергии запрещенной зоны наночастиц  $\text{TiO}_2$ .

Механизм поглощения и фотовозбуждения видимого света над  $\text{TiO}_2$ , легированный азотом, основан на электронно-дырочных парах при облучении видимым светом. Электроны мигрируют из валентной зоны в зону проводимости, оставляя после себя дыру в валентной зоне. Генерация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне при облучении видимым светом невозможна для нелегированной системы из-за широкой запрещенной зоны чистого  $\text{TiO}_2$  (рис. 8 (а)). Однако включение N в решетку  $\text{TiO}_2$  приводит к образованию нового среднего энергетического состояния, то есть 2p-орбиталей атомов N над валентной зоной, что в конечном итоге уменьшает ширину запрещенной зоны  $\text{TiO}_2$  (например, при 12,5 ат.% уменьшается до  $\sim 2,4$  эВ) и сдвигает оптическое поглощение в область видимого света (рис. 8 (б)). Следовательно, при легировании азотом электроны могут

мигрировать из валентной зоны в зону проводимости при поглощении видимого света, что приводит к активности  $\text{TiO}_2$  видимого света (рис. 6 (б)). Предлагаемая принципиальная схема представляет состояние с уменьшенной шириной запрещенной зоны после легирования азотом и возможностью перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости при облучении видимым светом. На рисунке показана генерация электронов в зоне проводимости из валентной зоне для системы  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  при освещении видимым светом (рис. 8 (а, б)).

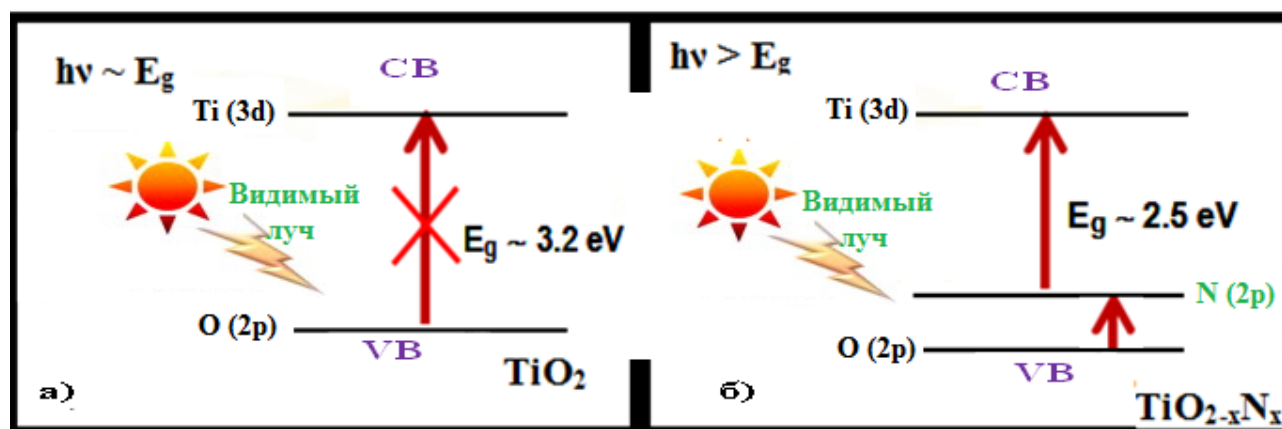


Рис. 8 (а, б). Диаграммы энергетических уровней и межзонного перехода электронов чистого и N - легированного  $\text{TiO}_2$

В конечном итоге, легирование азотом приводит к значительным улучшениям оптического поглощения  $\text{TiO}_2$  в видимой области света, при этом энергия фотонов превышает ширину запрещенной зоны. Полученные результаты могут способствовать пониманию некоторых особенностей их оптических свойств, важных для практического применения изучаемых систем, и могут оказаться интересными для исследователей, ищущих материалы с заданными электронными и оптическими характеристиками. Полученные результаты удовлетворяют критериям для того, чтобы сделать  $\text{TiO}_2$ , легированный N, возможным материалом для сенсibilизированного красителя солнечного элемента. Хотя край поглощения смещается в сторону более высоких энергий с увеличением концентрации N, как и ожидалось из-за изменения ширины запрещенной зоны, все эти материалы кажутся подходящими для фотоэлектрических применений и преобразования солнечного света в электроэнергию.

Полученные данные показали, что расчетные данные методом ТФП представляют интерес для изучения электронных свойств наноразмерных систем, а также структурных и оптоэлектронных свойств гексагонального  $\text{TiO}_2$ , легированного азотом, поскольку закономерности изменения оптоэлектронных свойств  $\text{TiO}_2$  хорошо согласуются с ранее полученными результатами для  $\text{TiO}_2$  в структуре анатаза.

#### 4. Выводы и перспективы

Возможности преобразования солнечной энергии в электричество рассматриваются в контексте прогнозируемых глобальных потребностей в энергии на XXI век. Поэтому очень актуальной задачей, стоящей перед учеными и инженерами, является изучение ряда электронных, оптических, тепловых и других характеристик новых материалов с целью их применения в солнечной энергетике. Огромный научный и

практический интерес к этим процессам связан с тем, что они направлены на решение глобальных проблем энергосбережения. Изучение свойств материалов открывает возможность синтеза и разработки материалов с оптимальными характеристиками для использования в солнечной энергии. Для реализации таких шагов, в частности изучения влияния дефектов или примесей на свойства твердых тел используются различные экспериментальные и вычислительные методы.

В настоящее время квантовомеханические расчеты атомов и молекул позволяют прогнозировать свойства еще не синтезированных молекул. В этой работе с помощью квантовомеханических расчетов исследуются структурные, электронные и оптические свойства ряда материалов, выращивание которых затруднено из-за их малых размеров, а также затруднено экспериментальное изучение соответствующих им физико-химических свойств. Расчеты показали, что ширина запрещенной зоны уменьшается с уменьшением концентрации азота, и легирование 12,5 ат.% N является оптимальным. Расчетные оптические свойства, состоящие из мнимой и действительной частей диэлектрической проницаемости, а также коэффициентов поглощения, показали, что легирование диоксида титана приводит к увеличению коэффициента поглощения по сравнению с чистым  $\text{TiO}_2$ . Высокая мощность поглощения и широкополосная прямая запрещенная зона позволяют предположить, что эти материалы подходят для применения в солнечных элементах.

Полученные результаты могут быть использованы другими исследователями для моделирования структуры  $\text{TiO}_2$  – подобных веществ, которые предполагается синтезировать, а также для определения таких важных характеристик, как «состав-структура-свойство».

#### Литература:

1. Mills, A. An overview of semiconductor photocatalysis/ Mills A., Hunte S. L. An // Journal of Photochemistry and Photobiology A. - 1997, - V. 108, - pp. 1–35.
2. Fu W. et al. F and Ca co-doped  $\text{TiO}_2$  nanocrystals with enhanced photocatalytic activity.// Dalton Transactions. - 2014, - V. 43, - pp. 16160–16163.
3. Акопян М.Е. Молекулярные фотопроцессы на границе раздела газ – твердое тело. //Соросовский образовательный журнал. – 1998, - №2, - С. 115-120.
4. Jinghua, Wu. CO<sub>2</sub> Reduction: From the Electrochemical to Photochemical Approach/ Jinghua Wu, Yang H., Wen Ye, Yanguang Li. // Adv. Sci. - 2017, - V. 4, P. 29; 1700194.
5. Venkata S., et al. High-Pressure Synthesis and Characterization of Incompressible Titanium Nitride.// Chem. Mater. 2016, 28, 6, 1616–1620.
6. Asahi, R. Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides/ Asahi R., Morikawa T., Ohwaki T., Aoki K. // Science. – 2011, - V. 293, - pp. 269-271.
7. Khan, S. Efficient photochemical water splitting by a chemically modified N -  $\text{TiO}_2$  / Khan S. U., Al - Shahry M., Ingler W. B. //Science. - 2002, - V. 297, - pp. 2243–2245.
8. <https://materialsproject.org/materials/mp-756587/>
9. Monkhorst, J. Special points for Brillouin-zone integrations/ Monkhorst, J., Pack, D. //Physical Review B 1976, 13, 5188.
10. Schwars, K. Solid state calculations using WIEN2k/ Schwars, K.; Blaha, P.// Computational Materials Sciens 2003, 28, 259-273.
11. Trommer, R. Dependence of the phonon spectrum of InP on hydrostatic pressure/ Trommer, R., Muller, H., Cardona, M. // Physical Review B 1980, 21, 4869-4877.
12. John, P. Generalized Gradient Approximation Made Simple / John, P., Kieron, B., Matthias, E. // Physical Review Letters 1997, 77, 3865.
13. Peter, B. WIEN2k: An APW+lo program for calculating the properties of solids/Peter, B.,



- Karlheinz, S., Fabien, T., Robert, L., Georg, K., Laurence, D. J. Chem. Phys. 2020 152, 074101
14. David, K. Merits and limits of the modified Becke-Johnson exchange potential/ David, K., Fabien, T., Peter, B. //Physical Review B 2011, 83, 195134.
15. Kohn, W. Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects/ Kohn, W., Sham, L.// Physical Review A -1965, 140, 1133-1965.
16. Hohenberg, P. Inhomogeneous electron gas/ Hohenberg, P., Kohn, W. //Physical Review B -1964, 136, 864-871
17. Nematov, D. First principles analysis of geometrical structure, electronic and optical properties of CsSnI<sub>3</sub>-xBr<sub>x</sub> perovskite for photoelectric applications/ Nematov, D., Khusenov, M., Kholmurodov, Kh., Yamamoto T. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques -2021, 15 (3), 1208-1221.
18. Нематов, Д. Компьютерный анализ электронных и структурных свойств нанокристаллов CsSnI<sub>3</sub>:Cl и CsPbI<sub>3</sub>:Cl. Электронный периодический рецензируемый научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». – 2019, 76, 187-196.
19. Doroshkevich, A.S. Frequency Modulation of the Raman Spectrum at The Interface DNA - ZrO<sub>2</sub> Nanoparticles/Doroshkevich, A.S., Nabiev, A.A., Shylo, A.V., Pawlukoć, A., Doroshkevich, V.S., Glazunova, V.A., Zelenyak, T.Yu., Doroshkevich, N.V., Rahmonov, Kh.R., Khamzin, E.Kh., Nematov D.D., Burkhonzoda, A.S., Khusenov M.A., Kholmurodov Kh.T., Majumder S., Balasoiu M., Madadzada A., Bodnarchuk V.I.// Egyptian Journal of Chemistry -2019, 62, 13-20.
20. Nematov, D. Molecular Dynamics of DNA Damage and Conformational Behavior on a Zirconium-Dioxide Surface/ Nematov, D., Burkhonzoda, A., Khusenov, M., Kholmurodov, Kh., Doroshkevich, A., Doroshkevich, N., Zelenyak, T., Majumder S. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques -2019, 13, 1165–1184.
21. Nematov, D. Molecular Dynamics Simulations of the DNA Radiation Damage and Conformation Behavior on a Zirconium Dioxide Surface/ Nematov, D., Burkhonzoda, A., Khusenov, M., Kholmurodov, Kh., Doroshkevich, A., Doroshkevich, N., Zelenyak, T., Majumder S., Ahmed R., Medhat I. // Egyptian Journal of Chemistry -2019, 62, 149-161.
22. Бурхонзода А. Кванто-механический расчет электронного строения ZrO<sub>2</sub>:Ti<sup>4+</sup> в рамках теории функционала плотности/ Бурхонзода, А., Гиёсов, С., Нематов, Д., Хусенов, М., Холмуродов Х.// Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции -2019, 3, 11-17.
23. Becke D. A. Exchange holes in inhomogeneous systems: A coordinate-space model/ A. D. Becke and M. R. Roussel.//Phys. Rev. A -1989, 39, 3761
24. Lu Y. H., et all. Hexagonal TiO<sub>2</sub> for Photoelectrochemical Applications./ J. Phys. Chem. C -2011, 115, 36, 18042–18045.
25. Cheng, H. Effect of nitrogen doping concentration on the properties of TiO<sub>2</sub> films grown by atomic layer deposition/ Cheng, H.; Chen, Y.; Wu, W. // Material Science and Enggnering:B -2011, 176, 596–599.

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧЕТЫРЕХОКОЛЕСНЫХ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА С РАЗДЕЛЬНЫМ ПРИВОДОМ. ЧАСТЬ ПЕРВАЯ - УСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ

*Поликарпов Юрий Валентинович*

КТН, доцент

Пенсионер

**Ключевые слова:** перекося моста; относительные перекося колес; упругое скольжение колес; сопротивления движению; механические характеристики двигателей; грузовая тележка; смещение с оси пролета

**Keywords:** bridge; skew in horizontal plane; wheels lateral deviation; creep; resistances to movement; speed-torque characteristics of motors; crane freight trolley; displacement from span axis

**Аннотация:** Описаны принципы построения математической модели свободного движения крана, учитывающей упругие скольжения колес. Приведены результаты моделирования движения опорного мостового крана при действии различных возможных причин появления перекося моста. Установлено, что влияние на перекося моста прочих возможных причин в сравнении с влиянием относительного перекося колес мало значимо и может не приниматься в расчет.

**Abstract:** This paper considers the principles of mathematical modeling unrestricted crane movement taking into account the creep. It presents the results of simulation of overhead traveling bridge crane motion under the influence of various factors presumably causing the skew bridge in horizontal plane. It has been established that in comparison with the influence of lateral deviation of wheels, the influence of other factors on the skew bridge in horizontal plane is insignificant and can be neglected.

**УДК 621.874**

**Введение.** Проблема повышения срока службы колес мостовых кранов и рельсов, снижения знакопеременных нагрузок на металлические конструкции крана и сооружений возникла более ста лет тому назад и до сих пор не имеет должного решения. Основная причина, приводящая к износу и нагрузкам, - движение моста с перекося относительно рельсов или «забегание» одной из его сторон относительно другой. При этом колесные реборды вступают в контакт с боковыми сторонами рельсов, вызывая появление нагрузок и износа.

**Актуальность.** В последнее время наметилась тенденция к установке на кранах замкнутых систем автоматического управления их электроприводом, включающих функцию устранения перекося моста [1]. Они обеспечивают такое движение крана, при котором реборды практически не вступают в контакт с рельсами устраняя износ реборд и снижая нагрузки на металлоконструкции. Однако, это очень затратное решение как при внедрении, так и в эксплуатации [Там же].

**Цели и задачи.** Продолжение ранее проводившихся работ по исследованию закономерностей свободного движения кранов до наступления контакта реборд и рельсов [2, 3]. Одна из задач исследования — выяснение наиболее значимых причин появления перекоса моста с целью последующего их устранения.

**Научная новизна.** Принципы построения математической модели, учитывающей упругие скольжения колес. Обоснование малой значимости ряда потенциальных причин перекоса моста.

**Основное содержание.** Первым исследователем причин перекоса применительно к кранам с отдельным приводом был Балашов В.П. Результаты его исследований опубликованы в работе [4], вышедшей в 1959 г. В ней перекосам крана посвящена глава, где приведен перечень возможных причин их появления, включающий: разность диаметров ведущих колес, проскальзывание или пробуксовывание одного из ведущих колес, различные скорости вращения электродвигателей вследствие различной их загрузки или различных жесткостей их характеристик, перекосы осей ведущих и ведомых колес в горизонтальной плоскости. Последующий материал содержит описание механизмов воздействия на основе представлений и математического аппарата того времени, используемого при решении технических задач. Этот перечень причин, дополненный смещением грузовой тележки с оси крана при поперечном перемещении грузов, до сих пор воспроизводится во многих источниках [1, 5, 6, 7,].

За последующие годы произошло некоторое переосмысление механизма взаимодействия крановых колес с рельсами и в обиход были введены понятия о продольном и поперечном упругих скольжениях колес относительно рельсов, которые не учитывались в [4]. Кроме того, получили широкое развитие методы математического моделирования, которые позволяют находить решения задач, ранее казавшихся неразрешимыми. Это позволяет взглянуть на проблему под несколько иным углом зрения.

Известно [3], что относительные перекосы колес, которые являются следствием погрешностей изготовления и монтажа кранов, оказывают значимое влияние на перекосы кранов в процессе движения. Стандартом определены допускаемые их величины в пределах  $\pm 0,0004$  рад относительно базы измерений. При этом максимальный их относительный перекося может составить 0,0008 рад. Однако, на практике требования стандарта выполняются далеко не всегда в связи со сложностью достижения требуемого результата.

С точки зрения кинематики поперечное разно направленное скольжение передних и задних колес при движении крана приводит к тем же результатам, что и их перекосы. То есть при равных значениях относительного перекося и относительной скорости поперечного скольжения колес кран движется по дуге окружности одного и того же радиуса. Поэтому значимость прочих факторов будем оценивать в сравнении с перекосями колес.

Нахождение зависимости между скоростями упругого скольжения и силовыми факторами процесса качения – это контактная задача теории упругости. Существует инженерная методика ее решения для крановых колес [8]. Она положена в основу модели.



Принимаем допущения: рельсы абсолютно ровные и жесткие; мост представляет собой не деформируемую конструкцию; груз не раскачивается. В качестве объекта для анализа принимаем мостовой кран со следующими техническими данными:

Грузоподъемность на крюке, кг 32000; Масса тележки с траверсой, кг 31200;

Пролет, м 28; Диаметр колеса, мм 710;

База, м 5; Скорость передвижения, м/с 1,67;

Масса моста, кг 114200; Проектное ускорение, м/с<sup>2</sup> 0,335.

Для решения задачи используем средство «Поиск решения» из Excel. Начальные значения приведенных к колесам сил сопротивления движению каждой стороны крана принимаем равными половине общих сил сопротивления передвижению, в которых учитываем трение реборд. Это отвечает ситуации одинаковых сил сопротивления движению. Затем вводим коэффициенты, задающие степень различия этих сил. Сумма коэффициентов всегда равна двум. Коэффициент сил сопротивления левой стороны изменяем от 1 до 2,4. при этом соответствующий коэффициент правой стороны изменяется от 1 до -0,4. Коэффициент жесткости механических характеристик двигателей принимаем равным 0,1. Основные результаты моделирования приведены в таблице 1.

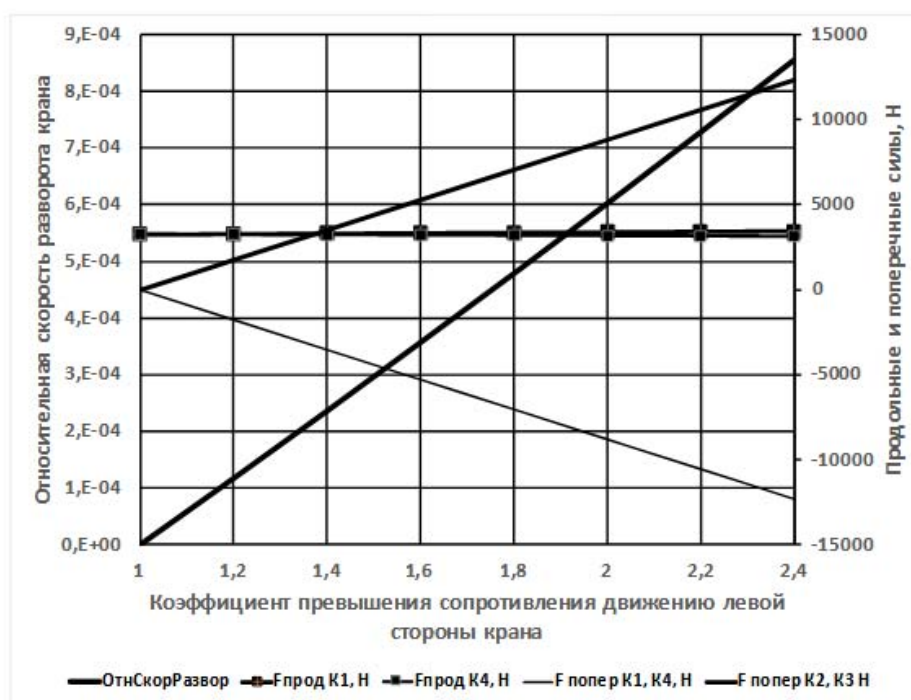
Таблица 1. Результаты моделирования движения крана.

КоэфСопрЛевСтор	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
КоэфСопрПраСтор	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0	-0,2
ОтнСкорПродСкК4	-9,0E-05	-9,0E-05	-9,0E-05	-8,9E-05	-8,9E-05	-8,9E-05	-8,9E-05
ОтнСкорПродСкК1	-9,0E-05	-9,1E-05	-9,2E-05	-9,3E-05	-9,4E-05	-9,6E-05	-9,7E-05
ОтнСкорПопСкОсиК2К3	0	-5,9E-05	-1,2E-04	-1,8E-04	-2,4E-04	-3,0E-04	-3,6E-04
ОтнСкорПопСкОсиК1К4	0	5,9E-05	1,2E-04	1,8E-04	2,4E-04	3,0E-04	3,6E-04
ОтнСкорПерекося	0	1,2E-04	2,4E-04	3,6E-04	4,8E-04	6,0E-04	7,3E-04
РазнИзмСкорК4иК1	0	6,6E-04	1,3E-03	2,0E-03	2,7E-03	3,4E-03	4,1E-03
Fпрод К1, Н	3262,5	3283,9	3305	3326	3349	3371	3394
Fпрод К4,Н	3262,5	3241,0	3218	3196	3174	3152	3129
F попер К1, Н	0	-1766,8	-3 532	-5 297	-7061	-8824	-10587
F попер К2, Н	0	1766,5	3533	5298	7063	8826	10589
F попер К3, Н	0	1766,5	3533	5298	7063	8826	10589
F попер К4, Н	0	-1767,1	-3533	-5298	-7063	-8827	-10590
РазнFпрод К1,К4, Н	0	42,8	86,2	130,0	174,5	219,6	265,4
ДоляМдв	0	3,28%	3,30%	3,32%	3,34%	3,37%	3,39%

Анализ показывает, что результаты не противоречивы, условия равновесия выполнены достаточно строго и имеются основания считать, что модель адекватна натуре.

Как видно из табл.1, строка «ОтнСкорПерекоса», при отношении сил сопротивления по разные стороны крана 1,5 (коэффициенты 1,2 и 0,8), относительная скорость перекоса крана составляет  $1,2E^{-4}$ , что во много раз меньше допустимого относительного перекоса колес, с которым она сравнивается только при отключении или выходе из строя одного из двигателей (коэффициенты 2 и 0). Очевидно, что такие соотношения сил сопротивления возможны только в аварийной ситуации, что в расчет брать не будем. Данные табл.1 дают ответ на вопрос о том, чем это можно объяснить. Из строки «РазнFпродK1,K4» и строк со значениями поперечных сил на колесах K1, K2, K3, K4, видно, что каждая из 4-х поперечных сил примерно в 40 раз больше разности продольных сил на приводных колесах. Это говорит о том, что препятствующий развороту крана момент создается почти исключительно поперечными силами, а аналогичный момент, создаваемый двигателями, строка «ДоляМдв», незначителен.

На основе данных табл. 1 построены графики изменения относительной скорости разворота крана и сил взаимодействия колес с рельсами в функции коэффициента сил сопротивления левой стороны крана, приведенные на рисунке 2.



**Рисунок 2. Изменение продольных и поперечных сил на контакте колес с рельсами и относительной скорости разворота крана в функции коэффициента сил сопротивления движению левой стороны крана.**

Как видно из графиков все зависимости линейные, что говорит о том, что движение крана происходит при соотношении сил, соответствующих практически линейному

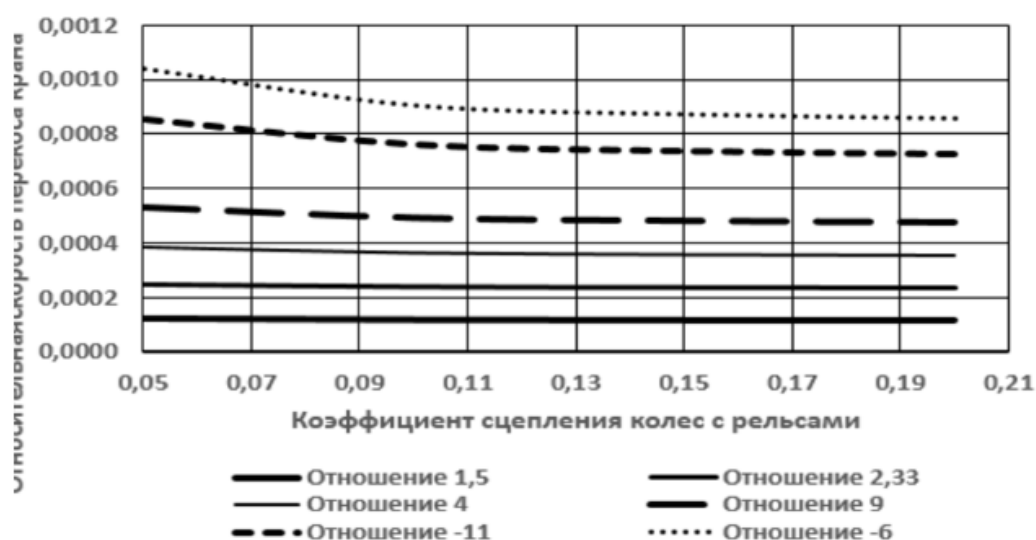
участку зависимости между силами и относительными скоростями упругого скольжения колес. Линии, соответствующие изменениям продольных сил, передаваемых через контакты ведущих колес, практически сливаются в одну, что наглядно подтверждает мизерность создаваемого ими момента. Максимальная относительная скорость перекоса крана по графику составляет 0,00086 при коэффициенте сил сопротивления левой стороны 2,4 и отрицательных силах сопротивления (движущих силах) правой стороны.

Очевидно, что так различаться как силы сопротивления, так и механические характеристики двигателей одного типоразмера не могут.

В разделе 12 «Допустимые отклонения» действующего стандарта «Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики.» [9] имеется один пункт 8а, относящийся к механической характеристике - «скольжения асинхронных двигателей мощностью 1 кВт и более». В нем допускаемая величина отклонения определена в  $\pm 20\%$  от скольжения. При номинальном скольжении 5% разность скоростей вращения независимых двигателей в самом худшем случае составит 2%. Поскольку в данном случае двигатели взаимосвязаны металлоконструкцией и не могут вращаться независимо, то произойдет выравнивание скоростей за счет изменения крутящих моментов. При жесткости механической характеристики 0,1 разность моментов составит порядка 20%, а, как видно из графика рис.2, соответствующая этой разнице относительная скорость перекоса крана  $\sim 8E-05$ , что можно не принимать во внимание.

Следовательно, предположение о том, что различия сил сопротивления движению и механических характеристик двигателей играют значимую роль в появлении перекоса крана при установившемся движении, не подтверждается. Также малозначимыми являются и небольшие различия в номинальных скоростях вращения валов двигателей при номинальном моменте и, следовательно, небольшие различия диаметров приводных колес, вплоть до единиц процентов, что эквивалентно различию моментов двигателей на соответствующее число десятков процентов. Эти результаты согласуются с выводами ранее проведенной работы по приближенному анализу свободного движения мостового крана с отдельным приводом [10].

На данной модели также было проверено влияние коэффициента сцепления колеса с рельсом на относительную скорость перекоса крана при различных соотношениях сил сопротивления, или, что то же самое, движущих сил. По результатам были построены графики, приведенные на рисунке 3.



**Рисунок 3. Изменение относительной скорости перегиба крана в функции коэффициента сцепления колеса и рельса при различных отношениях сил сопротивления по разные стороны крана.**

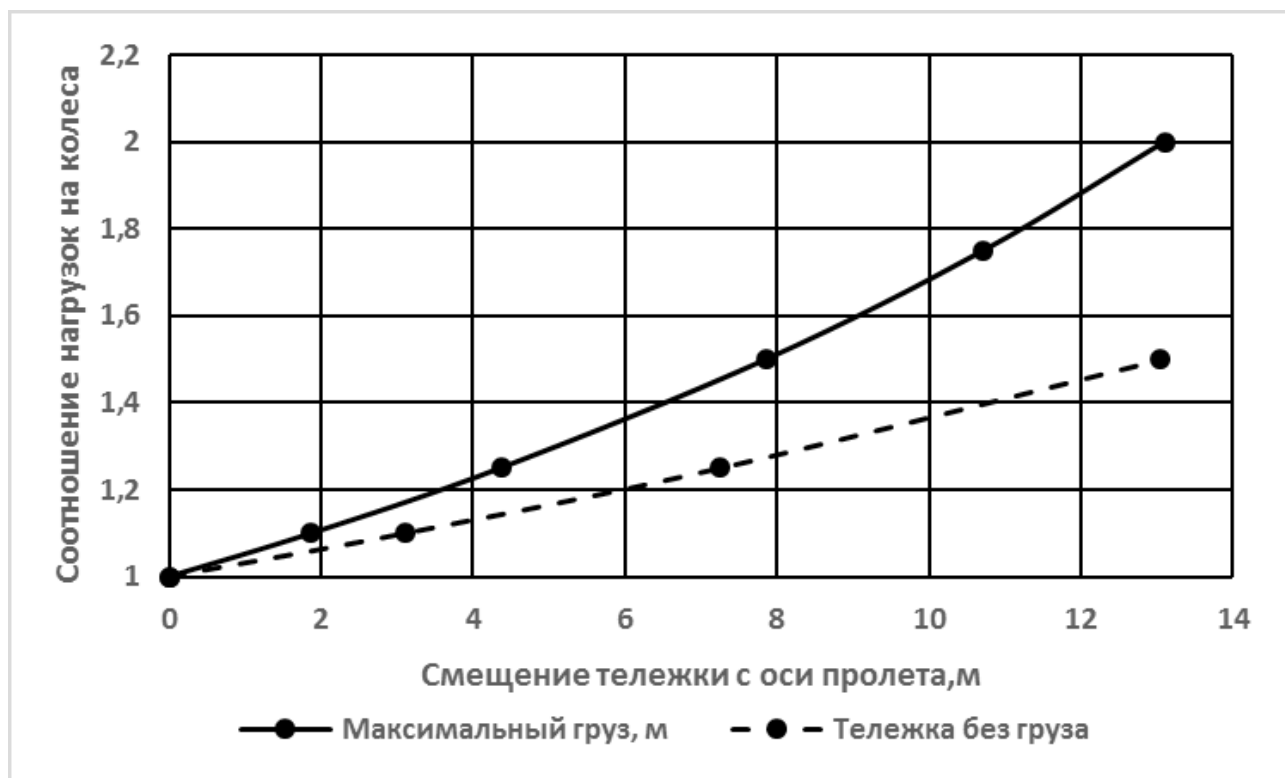
Из графиков видно, что при установившемся движении крана изменения величины коэффициента сцепления от 0,2 до 0,05 при соотношении моментов сопротивлений движению 1,5 и 2,33 не оказывают заметного влияния на скорость его перегиба. При отношении моментов 4 и значениях коэффициента сцепления менее 0,1 начинает проявляться возрастание скорости. Значимым это явление становится только тогда, когда один из моментов меняет знак. Это говорит о том, что контакт не сильно нагружен силами скольжения и изменения условий на контакте не оказывают влияния на перегиб крана при его установившемся движении. Кроме того, это подтверждает правомерность предположения о жесткости рельсового пути так как если нет перехода к трению скольжения на головке рельса, то нет его и на подошве и, следовательно, рельсовый путь не деформируется (рельсы не сдвигаются).

Однако в режиме ускоренного движения крана и при управлении его движением путем регулирования развиваемых двигателями моментов, нагруженность контакта возрастает и при коэффициентах сцепления менее 0,1 возможен переход к трению скольжения.

Далее рассмотрим процесс свободного движения данного крана с постоянной скоростью со смещенной с оси пролета тележкой, считая, что колеса не имеют перегибов. При наличии перегибов колес вопрос следует рассмотреть отдельно.

Смещение тележки с оси пролета перераспределяет нагрузки на колеса правой и левой стороны крана, а также силы сопротивления движению и нарушает их симметрию. Для данного крана изменение соотношения нагрузок при смещении тележки представлено на графике, рисунок 4. При этом предполагается, что изначально колеса правой и левой стороны можно считать нагруженными одинаково.





**Рисунок 4. Изменение соотношения нагрузок на колеса при смещении тележки с оси пролета**

Как видно из рис. 4, наибольшее соотношение нагрузок на колеса для тележки с максимальным грузом, равно 2, а без груза – 1,5. Это небольшие величины, однако для других кранов мостового типа, например, козловых, это соотношение может достигать значительно больших величин.

При моделировании задавались соотношениями нагрузок на колеса правой и левой сторон крана от 1 до максимального значения. Рассматривали два варианта: тележка без груза; тележка с максимальным грузом. Затем определяли величины скольжений и сил, при которых выполняются условия равновесия крана. Результаты моделирования движения крана при смещении тележки с грузом к правой опоре представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты моделирования движения крана при смещении тележки с грузом к правой опоре**

Смещение, м	0	1,87	4,37	7,86	10,72	13,10
СоотнНагр	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0
ВертНагрК1,К2 Н	435073,5	414356	386732	348059	316417	290049
ВертНагрК3,К4 Н	435073,5	455791	483415	522088	553730	580098
СкорПродСкК4	-9,0E-05	-9,0E-05	-9,0E-05	-8,98E-05	-8,97E-05	-9,0E-05
СкорПродСкК1	-9,0E-05	-9,0E-05	-9,1E-05	-9,10E-05	-9,14E-05	-9,2E-05
СкорПопСкОсиК2К3	0,00	-1,4E-05	-3,2E-05	-5,85E-05	-8,00E-05	-9,8E-05
СкорПопСкОсиК1К4	0,00	1,4E-05	3,3E-05	5,90E-05	8,05E-05	9,9E-05
ОтнСкорПерекоса	0,00	2,8E-05	6,5E-05	1,2E-04	1,6E-04	2,0E-04
Fпрод К1, Н	3262,0	3266,5	3273,3	3282,9	3290,7	3297,3

Гпрод К4,Н	3262,0	3256,4	3249,6	3240,0	3232,2	3225,6
F попер К1, Н	0,00	-420,4	-981,8	-1766,8	-2409,0	-2944,1
F попер К2, Н	0,00	420,9	981,3	1766,5	2408,7	2943,9
F попер К3, Н	0,00	420,9	981,3	1766,5	2408,7	2943,9
F попер К4, Н	0,00	-420,4	-981,9	-1767,1	-2409,5	-2944,7

Данные табл. 2 показывают, что смещение тележки с грузом с оси пролета оказывает некоторое влияние на скорость перекоса крана при соотношении нагрузок на опоры 1,5 и более. Это, пожалуй, второй по значимости фактор после перекоса колес, и не гипотетический, а реальный, хотя и значительно менее значимый. Вопрос о его учете необходимо решать в каждом случае в зависимости от параметров крана и технологического цикла, в который он включен.

**Заключение.** Результаты моделирования движения мостового крана не противоречивы и построенная на основе предложенных принципов модель в достаточной степени адекватна натуре.

Как показывают полученные результаты, на данном этапе при рассмотрении свободного установившегося движения работающих в закрытых помещениях мостовых кранов общего назначения можно вообще не учитывать все прочие возможные причины их перекоса, кроме монтажного или установочного перекоса колес.

Необходимость их учета может появиться не ранее того момента, когда относительные установочные перекосы колес удастся уменьшить до величин порядка  $2E-4$ , при условии, что требуемая стойкость колес по ребордам не будет достигнута.

Влияние рассмотренных выше факторов на движение козловых кранов может быть оценено по результатам моделирования движения конкретных кранов.

#### Литература:

1. Крановые панели и системы управления кранами. Автоматическое позиционирование моста и тележки. URL: <https://dvesta.com/technical-solutions/spetsialnye-funktsii-dlya-kranov-v-sostave-sistem-upravleniya/avtomaticheskoe-pozitsionirovanie-mosta-i-telezhki/>. (дата обращения 14.02.2021.)
2. Поликарпов Ю.В. Кинематика движения четырехколесной ходовой тележки грузоподъемного крана. // Подъемно-транспортная техника, №3, 2004 с. 47- 55.
3. Поликарпов, Ю.В. Обоснование выбора математической модели движения грузоподъемного крана по рельсовому пути./Ю.В. Поликарпов, Ю.Н. Диденко// Вісник ДДМА. – 2011, – №4 (25). С. 240 – 244.
4. Балашов В.П. Раздельный привод в механизмах передвижения мостовых кранов / В.П. Балашов. – Москва : б.и., 1959. – 122 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=210865> (Дата обращения: 24.02.2021).
5. Стрельцов С.В., Рыжиков В.А Снижение негативного влияния перекосов на состояние ходовой части крана. URL: <https://na-journal.ru/4-2012-tehnicheskie-nauki/166-snizhenie-negativnogo-vlijaniya-perekosov-na-sostojanie-hodovoj-chasti-krana>. (Дата обращения 20.02.2021.)
6. Иванов А.А. Причины износа реборд ходовых колес мостовых кранов. // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда № 7 (104) 2015

[Электронный ресурс] сайт. - URL <https://prominf.ru/article/prichiny-iznosa-rebord-hodovyh-koles-mostovyh-kranov> (Дата обращения: 20.02.2021)

7. Офий В. В. К вопросу о перекосе ходовых колес мостовых кранов / В. В. Офий, П. П. Горбакова // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2008. – № 12. – С. 64-69.

8. Дулев И.А. Прикладной метод определения зависимостей между усилием и скольжением для крановых ходовых колес – Известия Вузов, Машиностроение, №10, 1988 – с. 100 – 104.

9. ГОСТ IEC 60034-1-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики. URL <http://docs.cntd.ru/document/1200120650>. (Дата обращения 20,02,2021)

10. Поликарпов Ю.В. Установившееся движение грузоподъемного крана на цилиндрических колесах с раздельным приводом по рельсовому пути/ Ю.В. Поликарпов // Вестник ДГМА. – 2007. – № 3(9) . – С. 202 – 207.

## ПЕДАГОГИКА, ЛИНГВИСТИКА, ПСИХОЛОГИЯ

### РАЗВИТИЕ ОРФОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОРКОСТИ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИСЛАЛИЕЙ

**Янбаева Айзанат Мурзадиновна**

Ставропольский медицинский государственный университет  
студент

**Научный руководитель: Малахова Юлия Алексеевна, преподаватель кафедры дефектологии, русского языка и социальной работы Ставропольский государственный медицинский университет, Россия, г. Ставрополь, Маяцкая Наталья Константиновна, заведующая кафедрой, кандидат педагогических наук, доцент кафедры дефектологии, русского языка и социальной работы Ставропольский государственный медицинский университет, Россия, г. Ставрополь**

**Ключевые слова:** орфографическая зоркость; функциональная дислалия; ошибки; грамматический строй речи; письмо; младшие школьники; орфограммы

**Keywords:** spelling vision; functional dyslalia; errors; grammatical system of speech; writing; younger schoolchildren; spelling

**Аннотация:** В статье систематизировано представление об особенностях орфографической зоркости у детей с функциональной дислалией. Приводятся этапы процесса формирования орфографической зоркости. Автором было проведено исследование орфографической зоркости детей с функциональной дислалией. Делается вывод о том, что наличие данного нарушения почти не влияет на орфографическую зоркость детей.

**Abstract:** The article systematizes the idea of the peculiarities of spelling vision in children with functional dislia. The stages of the process of spelling vision formation are presented. The author conducted a study of the spelling vision of children with functional dyslaly. It is concluded that the presence of this violation has almost no effect on the spelling vision of children.

**УДК – 1751**

## **Введение**

На сегодняшний день, наиболее распространенной формой нарушенного развития оформления речи является функциональная дислалия. Нарушения звукопроизношения при нормальном развитии должны к 4-5 годам достигнуть звуковой нормы. Однако в силу социальных, биологических и индивидуальных факторов у некоторых детей эти нарушения не исчезают, а, напротив, принимают стойкий характер, именуемый функциональной дислалией.

**Актуальность:** Одним из условий наиболее продуктивного обучения ребенка в школе является полноценная, правильно оформленная речь. Именно поэтому функциональную дислалию в большинстве случаев устраняют в дошкольном возрасте, до превращения его в стойкий сложный дефект, который в свою очередь повлияет на развитие орфографической грамотности и других сторон речи. Этим объясняется **актуальность** выбранной темы.

**Новизна исследования** заключается в проведенной сравнительной характеристике результатов уровня сформированности орфографической зоркости младших школьников с функциональной дислалией с результатами исследования учителя начальных классов Волковой Е.В. Отличительной чертой проведенного исследования является проведение ее в отдаленных регионах РФ, в конкретном случае в республике Дагестан селе Нариман.

На данный момент одной из главных проблем школы является орфографическая безграмотность детей. Из школьной практики известно, что уровень грамотности становится с каждым годом все ниже и ниже. Список причин данной проблемы различен: высокая нагрузка школьной программы, что в результате приводит к некачественному, поверхностному выполнению домашнего задания; крайняя бедность словарного запаса в связи с неактуальностью чтения художественных произведений среди детей; негативное влияние таких технических средств как телефоны, телевизоры, компьютеры; различные речевые нарушения. В конечном итоге владение монологической и диалогической речью находится на очень низком уровне, речь бедна и лишена выразительности. Дети используют лишь простые нераспространенные предложения.[1, с. 15]

Помимо представленных выше причин орфографической безграмотности существует еще одна, наиболее распространенная – недостаточная сформированность орфографической зоркости, т.е. дети не способны «увидеть» орфограмму в тексте.

Орфографическая зоркость – это умение или способность находить в тексте орфограммы. Она предполагает также нахождение ошибок, допущенных при написании.[2, с. 28]

Процесс формирования орфографической зоркости включает:

1. Обнаружение орфограммы в грамматической конструкции;
2. Различение и определение типов орфограмм;
3. Соотношение определенного правила с орфограммой;
4. Соблюдение правил;
5. Самопроверка. [4, с. 57]

Следует отметить, что при функциональной дислалии орфографические и грамматические аспекты речи развиваются сообразно возрасту: отсутствуют как таковые глубокие проблемы искажения слоговых структур, в большинстве случаев правильно применяются падежи и числа, связная речь и словарь достаточно развиты.

Функциональная дислалия обусловлена нарушениями одного или нескольких звуков, которые проявляются в виде искажения, пропусков, замен или смешения звуков.

Органических нарушений артикуляционного аппарата при данном нарушении не имеется. Причинами возникновения являются биологические и социальные факторы. К биологическим факторам относят недостаточно сформированный фонематический слух и речевой уклад, минимальную мозговую дисфункцию, что препятствует нормальному речевому развитию, физическая слабость у детей часто болеющих. В число социальных же факторов входят неправильное речевое восприятие, потакание взрослых детской лепетной речи.

Автором было проведено исследование в целях изучения уровня сформированности орфографической зоркости младших школьников с функциональной дислалией.

**Цель** – изучение уровня сформированности орфографической зоркости младших школьников с функциональной дислалией.

**Объект исследования** – учащиеся младших классов с функциональной дислалией.

**Предмет исследования** – орфографическая зоркость детей с функциональной дислалией.

**Задачи исследования:**

- 1) кратко охарактеризовать функциональную дислалию;
- 2) изучить особенности формирования орфографической зоркости у детей с функциональной дислалией.

Для изучения уровня сформированности орфографической зоркости у детей с функциональной дислалией были использованы такие практические методы как наблюдение, эксперимент, расчеты, описание. Полученные данные были

обработаны с помощью таких теоретических методов как сравнительный анализ, изучение и анализ литературы, синтез, обобщение.

Базой исследования стала группа детей из 10 человек с функциональной дислалией, обучающиеся в третьем классе в МКОУ "Нариманская СОШ им. Асанова А.Б." села Нариман Ногайского района республики Дагестан.

Функциональная дислалия у этих детей представлена произносительными дефектами артикуляторно-фонетической формы в виде ламбдацизма, сигматизма, ротацизма, каппацизма, хитизма, йотацизма и гаммацизма.

Как было отмечено выше, одним из практических методов исследования был эксперимент, в котором были использованы такие методы определения уровня сформированности орфографической зоркости как:

#### 1) Методика оценки усвоения орфограмм Н.В. Зайцева

Детям был представлен текст с различными орфограммами: мягкий знак в конце и середине слова и сочетания ЧК, ЧН, ЧТ, безударные гласные в слове, правописание «жи-ши», «ча-ща», «чу-щу». На каждую орфограмму в тексте присутствовало по 5 слов. [3, с. 45-46]

#### 2) Орфографический диктант

Критерии оценивания диктанта:

Высокий уровень - ученики, получившие оценку «5»;

Средний уровень - ученики, получившие оценку «4» и «3»;

Низкий уровень - ученики, получившие оценку «2»; [5, с. 34]

Мы предложили детям текст, в котором были представлены следующие орфограммы: правописание безударных гласных в корне слова, и т.д.

### Результаты

Результаты исследования показали, что с методикой усвоения орфограмм Н.В. Зайцева без ошибок справились 60% детей, у 25% детей были в большинстве случаев проблемы с орфограммой безударные гласные в корне, у 20% правописание «жи-ши», «ча-ща». С орфографическим диктантом также большинство детей вполне успешно справились: 50% детей получили оценку «5», показывая высокий уровень знаний, 30% получили оценку «4», и лишь 20% получили оценку «3». Ни один ребенок не получил оценку «2».

### Заключение

Таким образом, на основе выше сказанного, и сравнивая результаты нашего исследования с результатами исследования учителя начальных классов Волковой Е.В., можно сделать вывод о том, что наличие такого нарушения как функциональная дислалия не очень сильно влияет на орфографическую зоркость детей. Дети с

функциональной дислалией совершают такие же орфографические ошибки, что и дети без подобного нарушения. Орфографические и грамматические аспекты речи развиваются в соответствии с возрастом.

#### Литература:

1. Борисенко И. Обучение младших школьников правописанию / И. В. Борисенко. - М.: Просвещение, 2014. -263 с.
2. Козина А. Н. Развитие орфографической зоркости у младших школьников / А.Н. Козина // Молодой ученый. — 2014. — №18. — с. 584-586.
3. Савинова З.А. Виды работ по формированию орфографической зоркости / З.А. Савинова // Начальная школа. -2014. - №1. — с.22.
4. Фролова Л. А. Теоретическое обеспечение орфографической деятельности младших школьников / Л. А. Фролова // Начальная школа. — 2005. — N 3. — с. 103–115.
5. Штец А. А. Обучение правописанию младших школьников на основе орфографических задач /А. А. Штец //VIII Международные Севастопольские Кирилло-Мефодиевские чтения: сборник научных работ. — Севастополь: «Шико-Севастополь», 2014. — с. 227–236.

## ИСТОРИЯ

### ВКЛАД КАЗАХСТАНСКИХ ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ В ОСВОБОЖДЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР И СТРАН ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ОТ НЕМЕЦКО-ФАШИСТСКОЙ ОКУПАЦИИ

**Адерихин Сергей Владимирович**  
Кандидат философских наук  
Казахская академия спорта и туризма  
доцент

**Адерихина И. В., учитель высшей категории, Педагогический колледж  
иностранных языков**

**Ключевые слова:** Великая Отечественная война; фронт; оборона; рота; воинская часть; главный удар; наступление; окружение; артподготовка; бомбардировщики; огневая точка

**Keywords:** the great patriotic war; front; defence; Rota; military unit; brunt; offensive; environment; artillery training; bombers; fire point

**Аннотация:** Статья посвящена участию казахстанских соединений в составе Красной Армии в освобождении территории СССР и стран Восточной Европы от немецкой оккупации. В статье прослеживаются этапы подготовки и участие в сражениях 1944-1945 гг., воинских частей, формировавшихся в годы Великой

Отечественной войны в Казахстане. Автор прослеживает участие воинов-казахстанцев на заключительных этапах войны и обосновывает положение о выдающемся вкладе казахстанских бойцов в победу.

**Abstract:** The article is devoted to the participation of Kazakhstani formations in the Red Army in the liberation of the territory of the USSR and the countries of Eastern Europe from the German occupation. The article traces the stages of preparation and participation in the battles of 1944-1945, military units formed during the Great Patriotic War in Kazakhstan. The author traces the participation of the Kazakhstani warriors in the final stages of the war and substantiates the position on the outstanding contribution of Kazakhstani fighters to the victory.

#### УДК 940.4

Актуальность данной темы заключается в необходимости изучать вопросы, касающиеся роли народа Казахстана в отражении нападения общего для всех народов СССР врага, степень участия в сражениях воинских соединений, сформированных на территории Казахстана.

Цель статьи – проследить боевой путь и обозначить вклад казахстанских воинских формирований Красной Армии в освобождении народов СССР и Европы от фашизма. В статье впервые уделено особое внимание боевому пути к Победе казахстанских соединений в 1944-45 гг.

К началу 1944 г. действующая армия Советского Союза насчитывала 6 354 тыс. солдат и офицеров; 95 604 орудия и миномета (без 50-мм минометов и реактивных установок), 5254 танка и самоходных артиллерийских установок, и 10200 самолетов. Немецко-фашистские войска и их союзники сохранили незначительное в 146 единиц – превосходство в танках и штурмовых орудиях, но уступали в людях в 1,3, в орудиях – в 1,7, в самолетах – в 3,3 раза. [1, с. 45].

Несмотря на неблагоприятное для них соотношение сил правители рейха рассчитывали, что им удастся сочетанием жесткой обороны с упреждающими ударами и контрударами удержать линию советско-германского фронта на максимально возможном удалении от границ Германии, на западе отразить ожидавшееся вторжение американско-английских войск, а затем перебросить высвободившиеся соединения в район Средиземного моря и на Восток для проведения новых наступательных операций, призванных победоносно закончить войну [1, с. 46]. Авантюризм этих расчетов очевиден: они игнорировали военно-экономический потенциал воюющих коалиций и все более явное количественное и качественное превосходство вооруженных сил противника.

Планы советского руководства были более реальными. Учитывая военно-политические итоги 1943 г. и упрочение антифашистской коалиции, Ставка ВГК в середине декабря приняла решение без оперативной паузы развернуть наступательные операции по всему фронту от Балтийского до Черного морей, сосредоточив в зимне-весенней кампании главные усилия на разгроме фланговых группировок противника, полной ликвидации осады Ленинграда и освобождение Правобережной Украины и Крыма [2, с. 361-362].



Освобождение Правобережной Украины и Крыма намечалось осуществить серией операций четырех Украинских фронтов, сил Черноморского флота и партизан. Среди соединений и частей, готовившихся к выполнению поставленной задачи, находились и казахстанские формирования.

Первой пошла в наступление 8-я стрелковая дивизия. Действуя на главном направлении 60-й армии 1-го Украинского фронта, она в ходе Житомирско-Бердичевской операции с 26 декабря 1943 г. по 13 января 1944 г. с тяжелыми боями преодолела около 160 км, от г. Малин до района г. Шепетовки.

8 марта 1944 года началась Уманско-Ботошанская наступательная операция. 11 марта в нее включилась и 72-я гвардейская дивизия. Ее полки сбили противника с рубежа Маривка, хут. Щевченко Кировоградской области, 21 марта вышли к Южному Бугу, пройдя за 12 суток около 100 км и освободив 85 населенных пунктов [3, с. 136].

Опираясь на реку и оборонительные сооружения, противник до 25 марта срывал попытки переправиться. Только у с. Ивановка, в 15 км юго-восточнее Первомайска батальону капитана Романько из 222-го стрелкового полка в ночь на 24 марта удалось захватить небольшой пятачок». Батальон отразил контратаки фашистов, расширил занятую территорию и рядом с ним разместились батальоны капитана Бойко и старшего лейтенанта Землянского. 26 марта полк освободил село, а 4 апреля, когда на плацдарм переправилась, вся дивизия и части усиления, была взята и железнодорожная ст. Ивановка.

К тому времени больших успехов добились и другие армии 2 и 3-го Украинского фронтов. Полосы их наступления сузились, что позволило командованию вывести из боя всю 7-ю гвардейскую армию и в первый эшелон ввести ее уже на молдавской земле после перехода к обороне.

Южнее, в составе 57-й армии 3-го Украинского фронта действовала 73-я гвардейская стрелковая Сталинградская дивизия (генерал-майор Козак Семен Антонович). 6 марта началась Березнеговато-Снигиревская наступательная операция, в ходе которой 73-я прорвала вражескую оборону у с. Котовка и устремилась на юго-запад. 14 марта освобождением ст. Долинская она перерезала железную дорогу Знаменка – Николаев [3, с. 137], и в ночь на 15 марта 211-й гвардейский стрелковый полк майора Л. М. Волошука, действовавший на правом фланге, вышел к р. Ингул у с. Борисовка. Начальник инженерной службы полка капитан Кунин с группой стрелков и саперов вплавь переправился через реку вблизи заминированного моста. Входящие в группу стрелки, а также артиллеристы с левого берега прикрыли саперов огнем и те, броском преодолев последние метры, достигали переправы, перерезали бикфордов шнур и электрические провода к взрывному заряду. Мост был спасен и по нему без промедления на правый берег устремились наши пехотинцы. Решительность и отличное взаимодействие помогли овладеть мостом, а потом и Борисовкой. 21 марта с выходом к Южному Бугу операция закончилась. 73-я и другие дивизии 64-го стрелкового корпуса надежно обеспечили стык двух фронтов и продвинулись более чем на 160 км.

В Одесской наступательной операции 3-го Украинского фронта (26 марта - 14 апреля) 57-й армии, 64-му корпусу и его 73-й гвардейской дивизии предстояло обеспечить с севера наступавшие на Одессу главные силы фронта, а затем выйти к Днестру севернее Тирасполя.

Мосты через Буг захватить не удалось, а попытка с ходу переправиться через него у хут. Кременчуг, предпринятая в день выхода к реке, успехом не увенчалась. Только после прибытия отставших в ходе наступления артиллерии и инженерных переправочных средств, изготовления дополнительных лодок, плотов и паромов, а также после тщательной разведки вражеской обороны 27 марта у с. Александровки. Гвардейцы форсировали преграду. Отразив контратаки, дивизия 4 апреля освободила ст. Красный Кут, а 12 апреля ст. Красная Горка, в 20 км северо-западнее Тирасполя и вышла к Днестру. На следующий день гвардейцы форсировали реку у с. Тея и Токмодзея [4, с. 323].

Южнее, в полосе 2-го Прибалтийского фронта действовала 8-я и 30-я гвардейские, 391-я стрелковые дивизии, сформированные в Алма-Ате.

В результате зимне-весенних боев группа армий «Центр» была охвачена с флангов, а ее резервы почти полностью втянулись в бои против белорусских партизан. Облегчало задачу разгрома противника на центральном участке фронта и то обстоятельство, что командование вермахта с опозданием обнаружило сосредоточение и передислокацию советских войск к центру и полагало, что и летом их главные усилия будут сосредоточены в Закладной Украине [4, с. 324].

Враг хорошо понимал стратегическое значение Белоруссии. Удерживая её в своих руках, он перекрывал пути в Польшу, Германию и южную часть Прибалтики, сковывал действия советских войск в Западной Украине. Поэтому линия обороны «Фатерлянд» (Отечество), не только по названию считалась важнейшим звеном обороны рейха. Она была мощным сочетанием полевых и долговременных инженерных сооружений и имела большую глубину, особенно на витебском и бобруйском направлениях, наиболее доступных для действий крупных соединений [5, с. 32-35].

В составе войск, освободивших Белоруссию от оккупантов, были сформированные в Алма-Ате 88 –я стрелковая дивизия, 173-й гаубичный артиллерийский и 129-й миномётный полки.

88-я стрелковая дивизия (полковник Ковтунов Федор Трофимович) входила в 71-й стрелковый корпус 31-й армии 3-го белорусского фронта и около года обороняла участок от д. Кириева до д. Горманы на северном берегу Днепра, в 35 км северо-восточнее Орши, перекрывая шоссе Москва – Минск. В многочисленных боях местного значения части хорошо изучили противостоящего врага, систему размещения его огневых средств и тактических резервов.

Удар, нанесенный нашей артиллерией и авиацией накануне атаки – она началась в 8 час. 40 мин. 23 июня – почти полностью разрушил оборонительные сооружения и вывел из строя большинство солдат и офицеров противника в первых трех траншеях. Поэтому стрелковые подразделения взяли их почти без боя и были задержаны только перед четвертой подошедшими резервами неприятеля. В последующие дни, развивая наступление, части дивизии завершили прорыв первой, главной полосы вражеской обороны и вечером 26 июня ворвались на северные окраины Орши [6, с. 146-148]. 1 июля они уже вышли на Березину южнее г. Борисова. Форсировав речную преграду, дивизия ворвалась в г. Воложин. 11 июля, освободив м. Радунь и Нача, полки вступили на территорию Литвы. Через 3 дня на плечах

отступающего противника дивизия достигла г. Друскининкай и к исходу того же дня очистила его от оккупантов.

Форсирование Немана 88-я начала на следующий день силами двух стрелковых полков – 611-го подполковника И. В. Садковского северо-восточнее и 426-го подполковника П. Д. Юзвака юго-восточнее Друскининкай.

Используя плоты и другие подручные плавсредства передовые стрелковые подразделения и батареи 45-мм орудий под огнём врага переплыли реку и захватили плацдармы. Позже дивизия во взаимодействии с соседями вступила в Восточную Пруссию в районе г. Гольдап (ныне Голдап, Польша). За время наступления она с боями прошла около 600 км. Ей было присвоено почетное наименование «Витебской», а 426-й стрелковый полк стал «Минским» и получил орден Красного Знамени [6, с. 149].

Освобождение Белоруссии создало условия для перехода в наступление и в Западной Украине. Логическим развитием Белорусской стратегической операции явилось освобождение большей части Прибалтики. В её освобождении, кроме уже упомянутой 88 –ой, ещё три стрелковые дивизии, сформированные в Казахстане (в том числе и в Алма-Ате)

756-й стрелковый полк полковника Зинченко Федора Митрофановича и вся 150-я стрелковая дивизия за 44 дня прошли с боями около 450 км, освободили сотни населенных пунктов, в т. ч. г. Идрица, Себеж, Кауната, Пасиене и Марциена. Дважды за это время Москва салютовала их солдатам и офицерам. Приказом Верховного Главнокомандующего от 23 июля дивизии было присвоено почетное наименование «Идрицкой» [7, с. 197].

Правым соседом 150-й дивизии 79-го стрелкового корпуса (он входил в 3-ю ударную армию 2-го Прибалтийского фронта) почти весь путь по Прибалтике прошла 391-я стрелковая дивизия (полковник А. Д. Тимошенко, подполковник Ф.И. Куцепин). 11 июля ее части были введены в прорыв и решительно преследовали врага. В этих боях подразделения 951-го артполка подполковника М. М. Ткаченко с блеском применили действия дивизионов перекатами. Артиллеристы одного-двух дивизионов вели обстрел противника, а в это время батареи других дивизионов, прицепив орудия, к машинам, двигались вперед. Поравнявшись с пехотой, они быстро занимали огневые позиции и открывали огонь. А 18 июля зам. командира полка по строевой части майор Каплан Лазарь Моисеевич с расчетом орудия опередил пехоту и ворвался раньше ее в пос. Лаудери [6, с. 151]. Исчерпав свои силы в бесплодных контратаках у оз. Нырза, противник 26 июля стал отходить к Резекне. Разведчики вовремя обнаружили отход и по радио доложили в штаб дивизии. Начальник штаба подполковник Б. З. Пешехонов от имени комдива бросил в преследование 1280-й стрелковый полк подполковника Н. Б. Алехина. В 6 час. 27 июля он ворвался в город и завязал бой за его юго-восточные кварталы. В 8 час. 10 мин с северо-востока в город вступили подразделения 8-й, с востока – 7-й, а с севера – 119-й гвардейских стрелковых дивизий. Взятию города содействовали и части 379-й стрелковой дивизии, обходившие с юга. К полудню Режица – так назывался город до революции – была освобождена и по суворовской традиции командующий фронтом генерал А. И. Еременко назначил подполковника Н. Б. Алехина, командира полка, первым ворвавшегося на его улицы, комендантом города. Все дивизии, участвовавшие в

освобождении центра Латгалии, получили почетные наименования «Режицких» [7, с. 198].

8-я гвардейская стрелковая дивизия под командованием генерал-майор А.Д. Кулешова почти весь путь наступления шла на направлении главного удара 10-й гвардейской армии 2-го Прибалтийского фронта. Панфиловцы у оз. Островито и Каменное прорывали главную полосу обороны противника «Пантера», затем тыловой оборонительный рубеж «Рейер» на р. Великая, промежуточные рубежи «Синий у Зилупе, «Зеленый» у Луизы и «Коричневый» перед Резекне. К концу августа за их плечами остались более 300 км и свыше 800 населенных пунктов, освобожденных от оккупантов. В октябре она содействовала овладению столицей Латвии и за успешные боевые действия была награждена третьим орденом – Суворова II степени [7, с. 198].

Важным фактором, обеспечившим успех панфиловской и других дивизий, был рост боевого мастерства личного состава и – что следует особо подчеркнуть – командиров всех степеней. Они научились быстро и верно оценивать обстановку, принимать продиктованные ею, а также соотношением сил и характером полученной боевой задачи решения, твердо управлять соединениями, частями и подразделениями. Лучших из них отличали также принципиальность и отеческая забота о подчиненных, умение страстным словом и личным примером повести их за собой. Не удивительно, что многие из них за время войны выросли в воинских званиях и должностях.

Среди офицеров - панфиловцев, вступивших в войну лейтенантами, командирами взводов, было немало таких, которые освобождали Прибалтику капитанами и даже подполковниками, командирами батальонов, дивизионов и полков. В их числе – Д.Ф. Поцелуев – Снегин, И. Л. Шапшаев, Б. Джетпысбаев [8, с. 389-390].

Участие в освобождении западных районов России и Латвии явилось славным этапом и в боевом пути 30-й гвардейской стрелковой Краснознаменной дивизии (генерал-майор Исаев Михаил Александрович). В составе 15-го гвардейского стрелкового корпуса 10-й гвардейской армии она прорывала оборону противника на 29 основных и промежуточных рубежах, форсировала десятки больших и малых водных преград, участвовала в освобождении городов Опочка, Лудза, Мадона, Эргли и, наконец, Риги. В числе наиболее отличившихся ей было присвоено почетное наименование «Рижской» [9, с. 288].

Итогом летне-осенних боёв севернее Припяти явилось освобождение северо-западных районов России, Белоруссии, Эстонии, Карелии и большей части Латвии и Литвы. Крупными военно-политическими успехами увенчались и боевые действия на южном крыле советско-германского фронта. В Яссо-Кишинёвской, завершившей изгнание захватчиков из Молдавии, участвовала сформированная в Алма-Ате 73 гвардейская стрелковая дивизия в составе 3-го Украинского фронта. В бой она вступила 23 августа для уплотнения кольца окружения вокруг кишинёвской группировки противника. При этом дивизия (и весь 64-й стрелковый корпус) перешёл в подчинение командующего 37-й армии, который приказал ее частям сосредоточиться в районе населенного пункта Гыртоп.

Своевременность принятых мер стала очевидной 26 августа, когда окруженные концентрированным ударом на юго-запад потеснили 19-ю стрелковую дивизию и

приблизились к с. Вознесенское, в 15 – 16 км юго-западнее Гыртопа. Возникла угроза прорыва кольца окружения [10, с. 136]. В четырехугольнике Каракуй, Вознесенское, Войнеско, Кокочены разгорелись упорные бои. Медленно, и неуклонно центр борьбы смещался к северо-западу, к Войнеско и Кокоченам. Угроза гибели и надежды на спасение за такой близкой р. Прут подстегивала врага, а радость завершения освобождения родной земли воодушевляла советских воинов. Это усиливало напряженность борьбы. Смелость, отвагу и находчивость в тех боях показали многие солдаты и офицеры дивизии, а коллективный героизм не раз демонстрировали стрелки младшего лейтенанта Е. Рысымбетова из 209-го, пулеметчики лейтенанта Д. И. Морковина из 214-го; минометчики младшего лейтенанта Н. Н. Васильева из 211-го стрелковых полков. Они и их боевые друзья измотали противника и заставили его сложить оружие в 4 км от берега Прута. В боях против прорывавшихся частей вермахта 73-я гвардейская потеряла убитыми 116, ранеными 233 солдата и офицера, но при этом вывела из строя 2250 оккупантов [10, с. 137]. Размеры потерь свидетельствуют о напряженности борьбы, а их соотношение – о превосходстве морально-боевых качеств советских солдат, офицеров и генералов.

В сражениях третьего периода войны Красная Армия выполнила свой долг перед Родиной и завершила изгнание немецко-фашистских захватчиков с территории СССР. В летне-осенней кампании 1943 г. она доказала, что ее оборона сильнее немецкого наступления, а в последующих операциях убедила весь мир в том, что ее наступление превосходит немецкую оборону. Советские войска, сорвав попытки врага вернуть стратегическую инициативу и решив проблемы прорыва обороны как полевого типа, так и долговременных укреплений, а также форсирования крупных водных преград и лесисто-болотистых пространств, пресекла усилия противника придать войне затяжной позиционный характер. С перенесением боевых действий в зарубежные страны наши войска приступили к выполнению задачи добить раненого, но еще сильного и опасного зверя в его собственной берлоге и освободить от оккупации поработанные Германией народы соседних стран.

В оборонительных и наступательных боях второй половины 1943 г. и первой половины 1944 г. возросший уровень боеготовности и воинского мастерства показали и казахстанские формирования. Они стойко отражали вражеские удары, решительно и умело наступали. Личный, групповой и коллективный героизм подразделений, частей и соединений стал явлением повсеместным и повседневным.

**Алма-Атинские дивизии в боях за освобождение Польши, Венгрии, Югославии, Австрии.** Справедливый характер войны СССР против фашистской Германии с особой убедительностью проявился в великом освободительном походе Красной Армии в зарубежные страны Европы. Поход этот поистине велик: он вылился в серию операций, которые продолжались почти без перерыва со дня перехода советско-румынской границы 26 марта 1944 г. до капитуляции остатков вермахта 11 мая 1945 г., завершился освобождением Центральной и Юго-Восточной Европы, северных районов Норвегии датского острова Борнхольм и стоил советскому народу жизни 1 млн., 200 тыс. его сыновей [11, с. 519].

Освобождение Польши было начато в ходе Люблин – Брестской операции 1-го Белорусского и Львовско - Сандомирской операции 1-го Украинского фронтов, Активное участие в них приняли сформированные в Казахстане 27-я гвардейская и 118-я стрелковые дивизии.

27-я гвардейская дивизия (генерал-майор В. С. Глебов) и вся 8-я гвардейская армия в середине июня 1944 г. перешли из 3-го Украинского фронта в 1-й Белорусский. После пополнения дивизия заняла участок фронта Пародуби, Гадовичи, в 15 – 20 км западнее Ковеля. На рассвете 18 июля после мощной артподготовки части начали наступление, через день освободили м. Мацеюв, Величе и Воляншизна Волынской обл., с ходу переправились через Западный Буг и вступили на территорию Польши [11, с. 520].

Передовой отряд дивизии к вечеру 31 июля вышел к Висле, утром 1 августа на подручных средствах форсировал ее, захватил д. Мнишев – Новый, а потом и м. Мнишев. На 300-км пути от Ковеля до Мнишева дивизия вывела из строя около 2,5 тыс. фашистов и освободила десятки населенных пунктов Украины и Польши [11, с. 520].

На заключительном этапе Львовско – Сандомирской операции в боях за удержание и расширение плацдарма за Вислой в составе 5-й гвардейской армии 1-го Украинского фронта приняла участие 118-я стрелковая дивизия (генерал-майор Суханов Михаил Афанасьевич).

Особенно напряженный характер носили бои в первые 6 дней, с 12 по 17 августа 1944 г., западнее польского г. Пацанув. В них только расчеты 117-го гвардейского артполка дивизии майора Н. Е. Рыжанкова уничтожили несколько сотен фашистов, сожгли и подбили 27 танков, уничтожили 7 батарей, 2 орудия и 44 пулемета [11, с. 521]. Стойкость солдат и офицеров позволила удержать сандомирский плацдарм.

Учитывая итоги боевых действий в 1944 г. дальнейшее улучшение соотношения сил и открытие союзниками второго фронта в Европе, Ставка ВГК поставила перед войсками задачу во взаимодействии с союзниками завершить разгром фашистской Германии. На первом этапе кампании. 1945 г. главные усилия сосредоточивались на центральном, Варшавско - Берлинском направлении. Начало наступления советских войск планировалось на 20 января 1945 г., но по просьбе англо-американского командования, оказавшегося в затруднительном положении в результате контрнаступления немцев в Арденнах, оно началось в полосе 1-го Украинского фронта 12 января, а 1-го Белорусского – 14 января. В Висло-Одерской операции в составе первого из них приняли участие сформированные в Казахстане 118, 314, 391-я стрелковые дивизии.

Последняя входила в ту же 59-ю армию и в бой вступила в ночь на 17 марта 1945 г. южнее г. Козель после прорыва вражеской обороны частями первого эшелона. Через сутки 1024-й стрелковый полк подполковника Ф. П. Дегтяря и 951-й артполк майора Л. М. Каплана уже вышли к р. Хотценплотц (Особлага). Стрелковый батальон майора Б. В. Репнякова внезапным ударом захватил мост севернее ст. Рассевальтц (Рацлавице – Сленске). Донесение об этом быстро дошло до штаба фронта, и маршал И. С. Конев приказал для развития успеха посадить стрелков 1024-го полка на танки 7-го гвардейского мехкорпуса и стремительно наступать на г. Нейштадт (Прудник) [11, с. 523].

Приказ был выполнен. В 14 час. 18 марта два батальона 1024-го полка вступили в Нейштадт. Одновременно с севера в него вошли танкисты генерала Д. Д. Лелюшенко и оппельнская группировка противника оказалась в окружении. Но враг не смирился со своей участью и за 4 дня предпринял 25 контратак с целью вернуть Нейштадт и

прорваться на запад. Ничего не добившись, он 22 марта ударил на юг, в направлении ст. Рассевальтц. Но уйти за линию фронта смогли очень немногие и через несколько дней пять дивизий вермахта, зажатых в кольцо, прекратили существование [11, с. 523]. За активные боевые действия на польской земле, за мужество и отвагу личного состава обе дивизии получили благодарность Верховного Главнокомандующего и государственные награды: 314-я - орден Кутузова II ст., 391-я – орден Красного Знамени [11, с. 524].

На кратчайшем, варшавско - берлинском направлении в составе 1-го Белорусского фронта наступала 27-я гвардейская стрелковая дивизия 29-го гвардейского стрелкового корпуса 8-й гвардейской армии.

Успеху фронтов центрального направления содействовали и войска, разгромившие врага в Восточной Пруссии. Здесь, в составе 71-го стрелкового корпуса 31-й армии 3-го Белорусского фронта сражались части 88-й стрелковой дивизии (ею в то время командовали полковники Кузенный Алексей Авксентьевич, с 26 января 1945 г. Лобанов Иван Сергеевич, с 14 февраля Мальцев Андрей Прокофьевич, с 28 февраля генерал-майор Самохвалов Никита Сергеевич). После прорыва неприятельской обороны южнее Гольдапа дивизия утром 2 февраля подошла к Ландсбергу (Гурово – Илавецке) и в тот, же день совместно с 331-й дивизией взяла его [11, с. 524].

Отступая, фашисты бросили на произвол судьбы 1 700 своих раненых, а запасы продовольствия вывезли или уничтожили. Для лечения солдат и офицеров противника санитарный отдел армии выделил людей и необходимые средства, а воины 88-й дивизии отдали им свой двухдневный сухой паек. Многих раненых это спасло от верной смерти [12].

3 февраля противник предпринял контратаку и через день охватил Ландсберг с востока и одновременно на левом фланге соседней 331-й стрелковой дивизии прорвался к г. Грюнвальде (Зеленице).

В Грюнвальде находились тылы 88 и 381-й дивизий и, в частности, медсанбат первой из них. Над домами, занятыми госпиталем мендсанбата, висели видимые издали белые флаги с красными крестами. Но фашисты открыли по ним огонь из штурмовых орудий. Дивизионный врач Д. Д. Арнольди, командир батальона А. Я. Ковыршин и начштаба П. П. Квочкин доложили по радио в штаб дивизии о появлении противника, отправили в тыл на автомашинах около 200 раненых, а с теми, кто мог держать в руках оружие, заняли оборону. В неравной борьбе погибли многие, в т.ч. и бывший преподаватель педучилища и депутат Октябрьского райсовета Семипалатинска П. П. Квочкин. [12, с. 524].

Выходом к окраинам Ландсберга и взятием Грюнвальде неприятель охватил фланги 88 и 331-й стрелковых дивизий, а затем и окружил их. Никто из воинов не дрогнул и своего рубежа не оставил. Один из участков фронта удерживали солдаты и офицеры 221-го отдельного батальона связи 88-й дивизии.

Командир батальона, уроженец г. Талды-Кургана капитан Яровой Георгий Алексеевич в часть прибыл рядовым еще в Алма-Ате и начал службу телефонистом. Позже он вспоминал, что почти все связисты 39-й стрелковой бригады, бывшие курсанты военного училища, хорошо знали средства связи, но не имели опыта их использования. «Да и техника связи того времени была не совершенной. Часто

выходили из строя телефонные аппараты. Неудобны были коммутаторы. Радиостанции практически не использовались. Воины в шутку называли их «вижу, но не слышу»: находясь в поле на расстоянии прямой видимости, радисты не могли связаться друг с другом.

В течение месяца войска левого крыла 2-го Украинского фронта готовились к Братиславско-Брновской наступательной операции. Полки 72-й гвардейской в ее ходе форсировали гг. Грон, Нитру и Ваг, овладели гг. Тур, Нове – Замки и устремились к Братиславе [3, с. 312]. За время операции, с 25 марта по 5 мая 1945 г., она с боями прошла свыше 200 км, форсировала несколько крупных, особенно в весенний разлив, водных преград, выбила врага из десятков больших и малых, населенных пунктов Словакии Австрии и Чехии [13, с. 292].

На левом крыле самого южного из фронтов – 3-го Украинского – действовала 73-я гвардейская стрелковая дивизия (генерал-майор С.А. Козак). После разгрома яско-кишиневской группировки противника она совершила переход к Измаилу и вступила на территорию Румынии, а потом и Болгарии. В Румынии местное население встречало наши части с радушием по случаю избавления от союзника – грабителя, а в Болгарии их ждал небывало дружественный прием. Население этой страны не забыло, что освобождением от многовекового турецкого ига оно обязано России и сорвало все попытки втянуть Болгарию в войну против Советского Союза. Как освободителей и союзников, встретили гвардейцев и трудящиеся Югославии, которые вели национально-освободительную войну против немецких фашистов, их союзников и прислужников. 73-я гвардейская приняла активное участие в Белградской наступательной операции, а ее соседями нередко были соединения Югославской народно-освободительной армии. Бои за Белград разгорелись жаркие. С особым ожесточением враг сопротивлялся у моста через Саву. Каждый квартал и отдельное здание приходилось брать штурмом. Только на рассвете 20 октября подразделения 211 и 214-го полков 73-й гвардейской и 814-го стрелкового полка 236-й дивизий прорвались к переправе [13, с. 293]. Белградский учитель М. З. Зарич видел, как фашисты подготовили ее к взрыву. Схватив саперную лопату, пристроился к их арьергарду и беспрепятственно вступил на мост. Дойдя до зажигательного шнура, тянувшегося к фугасам у опор, он отстал от немецкого отряда и перебил шнур. Первая группа советских пехотинцев без промедления двинулась на северный берег реки. Фашисты тотчас бросили против смельчаков крупные силы, но ни отбить, ни взорвать переправу не смогли. В группу, захватившую и удержавшую мост до подхода головных-подразделений дивизии, входили зам. командира 211-го полка майор Н. К. Ткаченко, солдаты и сержанты К. Аскарров, А. Белоус, И. Босый, Н. Гришинюк, Я. Камдин, В. Киселев, Я. Кучеренко, П. Осипов, П. Пшитой, В. Фанаилов, Ф. Хохич, И. Юнусов [14, с. 208-214].

Вскоре после освобождения Белграда, в ноябре 1944 г. 73-я и другие дивизии 64-го стрелкового корпуса были передислоцированы в полосу 57-й армии в Южную Венгрию, а затем на плацдарм западного берега Дуная у югославского пос. Батина. Прибывшим выпала ответственная задача удержания и расширения освобожденной территории. Сотни воинов дивизии были удостоены орденов и медалей. Приказом Верховного Главнокомандующего дивизия получила второе почетное наименование – «Дунайской», а Президиум Верховного Совета СССР наградил ее орденом Красного Знамени [13, с. 422-423].



Удержав батинский плацдарм, 57-я армия возобновила наступление и к середине декабря продвинулась до оз. Балатон и его окрестностей [15, с. 220]. Это надежно прикрыло с юга главные силы фронта, которые тем временем во взаимодействии с войсками 2-го Украинского фронта - окружили будапештскую группировку противника и создали предпосылки для нанесения удара в направлении Надьканижского нефтепромысла Венгрии и юго-восточных районов Австрии. В штабах и частях уже шла подготовка к Венской операции, когда поступили сведения о том, что и немецко-фашистские войска готовятся к наступлению. Советское командование решило, не прекращая подготовки к удару, усилить внимание к укреплению занимаемых позиций с тем, чтобы преднамеренной обороной перемолоть вражеские танковые части и потом уже начать запланированную операцию. Наступление враг начал 6 марта и в полосе 57-й армии главный удар нанес по 73-й гвардейской и 299-й стрелковым дивизиям. Предпринимая от 18 до 28 атак в сутки, за 4 дня продвинулся всего на 6 – 8 км, т.е. не смог прорвать тактическую зону обороны [16, с. 111]. Отражение вражеского контрнаступления обеспечило своевременное вскрытие планов противника и подготовленность оборонительных рубежей, четкость в руководстве войсками командованием армии и фронта. Хорошей иллюстрацией этого служит передислокация в полосу 64-го корпуса (в него по-прежнему входила и 73-я гвардейская) за первые три дня боев 600 орудий; что позволила в первый день снизить превосходство противника в артиллерии, на второй день выровнять количественное соотношение, а на третий превзойти врага в огневой мощи. Сказалось и выросшее боевое мастерство солдат и офицеров. За успешные бои у с. Надькорпад 430 бойцов и командиров соединения были отмечены орденами и медалями [16, с. 111].

Отразив удар, 3-й Украинский фронт начал Венскую операцию. 16 марта вперед двинулась главная группировка фронта севернее г. Секешфехервар, 29-го в нее влились соединения 57 и 1-й болгарской армий, составлявшие левое крыло фронта. На следующий день 73-я дивизия (с 13 марта ею командовал полковник Щербенко Василий Иванович, сменивший С. А. Козака, назначенного командиром 21-го гвардейского стрелкового корпуса) вышла на восточные подступы к г. Надьканижа, центру нефтедобычи Венгрии. 1 апреля совместными усилиями советских и болгарских соединений город был взят. Советские войска продолжали наступление. Выдвинув вперед 209-й полк с подразделениями усиления, дивизия по пятам отступающего противника вступила на территорию Югославии, в третий раз на своем пути. Освободив, во взаимодействии с другими соединениями г. Мурска – Собота, она перешла границу Австрии. Сбивая заслоны врага, овладела гг. Раднерсбург, Лейбниц, Вильдон и праздник Победы встретила юго-западнее г. Грац [17, с. 258-259].

Около двух месяцев продолжалась Моравска-Оставская операция. За это время 4-й Украинский фронт продвинулся на запад на 100-140 км., разгромил крупные силы противника и освободил сотни сёл и десятки городов соседних стран. С освобождением Оставского индустриального района был открыт путь в центральные районы Чехословакии и улучшены условия для удара по Берлину.

Таким образом, Красная Армия, сломив сопротивление врага, полностью освободила территорию СССР и Восточной Европы, вплотную подошла к территории Германии и начала готовиться к взятию Берлина. Беспрецедентной стойкостью и мужеством отличились в боях за освобождение советской земли и братских народов Европы воины-казахстанцы.

**Литература:**

1. История Второй мировой войны. 1939 – 1945. М.: Воениздат, 1977. Т. 8 - 536 с. С. 22,45.
- Мацуленко В. А. Удар с днестровского плацдарма. (Наступление 37-й армии 3-го Украинского фронта в августе 1944 года). М.: Воениздат. 1961 - 181 с.
2. Василевский А. М. Дело всей жизни. – М.: Воениздат, 1985. – 496 с.
3. От Волги до Праги. (Боевой путь 7-й гвардейской армии). М.: Воениздат, 1966. - 336;
4. Карелл П. «Канны» на Березине //от «Барбароссы» до «Терминала»: Взгляд с Запада. М.: Политиздат, 1988. – 465 с.
5. Плотников Ю.В. Освобождение Белоруссии. М.: Воениздат, 1984. - 125 с.
6. Афанасьев и др. Дорогами испытаний и побед: Боевой путь 31-й армии. М.: Воениздат, 1986. - 272 с.
7. Приказы Верховного Главнокомандующего в период Великой Отечественной войны Советского Союза. С 25. января 1943 г. по 3 сентября 1945 г. М.: Воениздат, 1975. – 598 с.
8. Герои Советского Союза – казахстанцы. В 2 томах. /под ред. Н. Зверева - Алма-Ата: Казахстан, 1968. Т. 2. - 440 с.
9. Еременко А. И. Годы возмездия; 1943 - 1945. М.: Наука, 1969. - 593 с.
10. Блажей А. К. В армейском штабе. М.: Военное издательство, 1967. - 256 с.
11. Великая Отечественная война. 1941 - 1945: энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1985. – 832 с.
12. Красная звезда. 1965, 16 марта.
13. Казахстан в период Великой Отечественной войны Советского Союза 1941-1945гг. Сборник документов и материалов. В 2-х томах. Т.2. 1944-1945гг. /Сост. Б.А. Акжанов, Т.Б. Балкаев, П.С. Белан и др. Алма-Ата, 1967.-527 с.
14. Лукницкий П. По дымному следу. Очерки и главы из фронтового дневника. - М.: ДОСААФ, 1973. – 272 с.
15. Шарохин М. Н. Битва на венгерской земле // Великий освободительный поход: сборник. М., 1970.: сборник / Ин-т воен. истории мин-ва обороны СССР; сост. М. Н. Горбунов; ред. Л. Ф. Филатова. – М.: Политиздат, 1970. - 312 с.
16. Шарохин М. Н. Нетрухнн В. С. Путь и Балатону. М.: Воениздат, 1966 – 144 с.
17. Малахов М. М. Освобождение Венгрии и Восточной Австрии, М.: Воениздат, 1965. - 295 с.

# ПЕДАГОГИКА, ИСКУССТВОВЕДЕНИЕ, МУЗЫКОВЕДЕНИЕ

## ФУНКЦИИ МАСТЕР-КЛАССА В МУЗЫКАЛЬНОМ ИСКУССТВЕ

**Мороз Екатерина Сергеевна**

Белорусская государственная академия музыки  
магистрант

**Сахарова Вероника Николаевна, кандидат искусствоведения, доцент  
кафедры музыкальной педагогики, истории и теории исполнительского  
искусства Белорусской государственной академии музыки**

**Ключевые слова:** мастер-класс; функции мастер-класса; исполнительское искусство; музыкальное образование

**Keywords:** master class; master class functions; performing arts; music education

**Аннотация:** В статье рассмотрен мастер-класс как дополнительная форма музыкально-образовательного процесса на предмет выявления его функций в музыкальном искусстве. Определены и охарактеризованы следующие функции: дидактическая, психологическая, коммуникативная, организационная, дискурсивная, аксиологическая, гносеологическая, культурологическая, аккумулярующая, трансформационная, адаптационная, интертекстуальная, мифопоэтическая, художественная, эстетическая.

**Abstract:** The article considers the master class as an additional form of musical and educational process in order to identify its functions in the art of music. The following functions are defined and characterized: didactic, psychological, communicative, organizational, discursive, axiological, epistemological, cultural, accumulative, transformational, adaptive, intertextual, mythopoetic, artistic, aesthetic.

### УДК 7

**Введение.** В наше время активного жизненного темпа, массового клипового мышления, профессиональной скованности в узкоспециальном кругу, а в условиях пандемии – и дистанционного формата коммуникации, возрастает потребность в гибко-организованном условии для диалога и сотворчества педагогов и учеников, художников и публики, искусства и социума.

В период романтизма, в период свободы самовыражения личности через поэтику чувствования, возобновление принципов древнегреческого ораторского искусства, синтеза искусств и открытие высших профессиональных музыкальных учебных заведений привели к рождению новой формы профессионального общения – **мастер-классу**, впервые представленному в 1850-х гг. в творческой деятельности Ф. Листа.

В современной музыкальной деятельности можно говорить о «новом дыхании» мастер-класса: он многообразно представлен по содержательным функциям, форме проведения, целевой аудитории, методам работы [6]. Так, учебные заведения, концертные залы, телевизионные каналы, онлайн-трансляции YouTube активно включают в программу творческие встречи с выдающимися мастерами искусства, которые знакомят широкую публику с уникальными педагогическими методиками, новыми исполнительскими интерпретациями, оригинальными философскими концепциями.

Практически каждый современный музыкант не раз являлся участником мастер-классов в качестве слушателя, исполнителя или педагога. Среди преимуществ мастер-класса – рациональность, локализация во времени и объеме информации, открытый, творческий характер проведения. Мастер-класс помогает преодолеть консерватизм при познании нового, расширяет кругозор, знакомит с общемировыми тенденциями, способствует профессиональному росту, развивает критическое мышление, стимулирует раскрытие духовно-творческого потенциала личности.

Таким образом, **актуальность** данного исследования продиктована активным обращением в общемировой музыкальной практике к феномену мастер-класс и, вместе с тем, неразработанностью данной темы в научных трудах.

**Цель статьи** – выявить функции мастер-класса в музыкальном искусстве.

**Научная новизна** заключается в первом обращении и рассмотрении в научно-исследовательской деятельности функциональных особенностей мастер-класса как высокоорганизованной нерегламентируемой дополнительной формы музыкально-образовательного процесса.

**Основная часть.** Ф. Листом были заложены сущностные аспекты мастер-класса: проведение занятия педагогом-мастером, создающим условие соревновательности и творческого азарта, демонстрация исполнителями своих умений и навыков на примере сочинений, обладающих дидактической и высокохудожественной ценностью, а также присутствие публики, неограниченной по составу и уровню компетенций.

Мастер-класс, являясь дополнительной формой музыкального образования, несомненно, обладает **дидактической функцией**. Однако, в отличие от уроков в любой системе образования, модель обучения и воспитания направлена не только на ученика, но и на публику, которая может состоять из педагогов, профессиональных музыкантов или любителей.

Выделим характерные **дидактические признаки** мастер-класса:

- возможность выбора и многовариантность интерпретации предложенной педагогической методики (для учеников-исполнителей и публики);
- наличие диалектического противоречия как источника развития активного мышления (к примеру, традиционное, то, что наследовано – и эксперимент, то, что произошло «здесь и сейчас» и может меняться);

- коллективно выработанный «результат», где «результат» – качественно-новый уровень исполнения музыки, требующий дальнейшей самостоятельной работы ученика. Так, существенно различие в исполнении произведения до и после работы с мастером как «результата» сотворчества исполнителя, педагога и влияния публики, которое может проявляться в диалоге или в невербальном участии – к примеру, в аплодисментах, несущих особую психологическую нагрузку;
- повышение уровня умений и навыков исполнителя и уровня компетенций профессиональной аудитории неотрывно от духовной сути музыки (к примеру, мастер-классы Д. Баренбойма, П. Нерсесьяна, В. Пясецкого);
- воспитание подготовленного слушателя, осознанного «слышания» [4, с. 197], глубокого восприятия музыки (яркий пример – телевизионные и онлайн-мастер-классы в жанре «бесед у рояля», расширяющие «географию» зрительного зала и формирующие потребность в постоянном обращении к искусству, при этом не подразумевающие наличие за инструментом ученика как такового).

**Психологическая функция** мастер-классанапрямую связана с его сущностными аспектами, а именно – работой исполнителя и педагога, чаще впервые знакомящихся друг с другом, в присутствии публики (нередко ведутся и фото-, видеосъемки, онлайн-трансляции). Мастер-класс является экстремальным условием, формирующим психологическую выдержку, саморегуляцию, сценическое внимание, устойчивость мышления, помехоустойчивость и др. При наличии нескольких исполнителей (и/или нескольких ведущих мастеров-педагогов) создается атмосфера состязательности, которая мотивирует к совершенствованию профессиональных умений и навыков, быстрому достижению более высокого уровня исполнения (проведения занятия), уверенности и личностному росту.

Мастер-класс является условием для организации профессионального общения, что подтверждает его **коммуникативную и организационную функции**. В наше время это реализуется и в дистанционном формате. Так, Национальным концертным залом Дублина, Санкт-Петербургским Домом музыки открыты международные онлайн-мастер-курсы, где педагог, исполнитель и публика «объединены» видеотрансляцией и чатом. Мастер-класс в форме онлайн-лекций с возможностью обратной связи от зрителя представлен М. Аркадьевым, И. Соколовым, адресатами выступают педагоги-коллеги и широкая профессионально-любительская публика, соответственно. Исходя из этого, мастер-классы разнятся по целям и методам проведения.

**Дискурсивная функция** заключается в том, что, во-первых, мастер-класс сам по себе является дискурсивной практикой. Мастер-класс – это один из способов высказывания в музыкальной культуре, который отражает знания, опыт, мировоззрения участников коммуникации. Во-вторых, мастер-класс – объект дискурса, если он представлен в виде речевого акта субъектов дискурса.

**Аксиологическая функция** подтверждается тем, что мастер-класс является альтернативной моделью музыкально-образовательного процесса, где личностной и общественной ценностью является как само образование и музыка, так и педагог, ученик и слушатель. Мастер-класс ориентирован на коллективное взаимодействие, сотворчество, формирующее систему ценностных установок и ориентиров личности. Посредством мастер-класса реализуется потребность в духовном развитии.

**Гносеологическая функция** мастер-класса продиктована обращением к музыке, ее исполнением и самой спецификой ее бытия. В исполнительском искусстве речь идет об интонации как смысловой первооснове музыки: только благодаря музыкальному интонированию становится возможным постижение смысла музыки.

Так, Б. Яворский впервые указал на связь интонации с выразительностью. Теория Б. Асафьева придала интонации значение коммуникативной единицы в «социально-осмысленном интонационном комплексе» [1, с. 355].

По мнению В. В. Медушевского, интонация – ключ к человеку в художественном мире музыки. Он обратил внимание на специфику обучения языку музыки, где должен господствовать принцип «от интонации как выражения смысла – к звуку» [5, с. 184]. Через интонацию, как невербальный канал общения, слушатель понимает заложенную в музыке мысль автора и даже портрет духовного бытия эпохи. Таким образом, «интонационная форма музыки» предстает как энциклопедия мироощущения.

Д. Кирнарская подчеркивает, что с помощью перебрасывания интонационного «моста» («метафорического скачка») в мир художественных и психологических смыслов восприятие слушателя получает выход в общекультурное пространство [2].

**Культурологическая функция** выводится из понимания мастер-класса как явления культуры, мастер-класс может влиять на ее сферу и изменять ее. Известно, что уже с античности степень развития педагогики свидетельствовала об общем состоянии культуры в обществе, а шире – она является показателем развития самой историко-культурной эпохи.

Одним из ярчайших примеров влияния педагогической деятельности на современное общекультурное поле является творчество Д. Баренбойма –представителя музыкального искусства без академического образования, но воспитанного на посещениях творческих мастерских выдающихся музыкантов. Транслируемая в его мастер-классах философская идея познания мира через музыку объединяет все представленные функции.

Мастер-класс «хранит» и «накапливает» в себе общемировые педагогические и исполнительские идеи, концепции, коммуникативные категории, ментальные модели, что в историческом срезе в совокупности определяет сам образ музыкального образования и осуществляет принцип преемственности. В этом проявляется **аккумулирующая функция** мастер-класса.

При этом, являясь современной открытой формой образования, мастер-класс преобразует традиционный комплекс методик музыкального обучения в новые временные условия, что позволяет говорить о **трансформационной функции** мастер-класса в широком смысле.

В узком смысле, мастер-класс реализует личностную трансформацию: у его участников развиваются способности к самопознанию, саморазвитию и самореализации. Преобразование внутреннего мира личности происходит так же посредством музыкального переживания. В этой связи можно говорить и о сценической трансформации исполнителя и педагога, которая нередко синонимична артистичности.

В музыкальном исполнительском искусстве «игра» лица и рук стали средством пространственной «лепки» и музыкального образа, и сценического образа самого артиста. Своего рода театральность может выражаться в наличии драматургически выстроенного исполнения, психологического проживания и адекватного его выражения в исполнительской интерпретации, либо в виде особой демонстративности, нарочитой выразительности, эпатажности. Показателен пример Ланг Ланга как романтизированно-экзальтированного исполнителя, где трансформация личности на сцене визуально акцентна, однако, практически нивелируется при участии пианиста в мастер-классах других музыкантов (особенно в ранний период его творчества, к примеру, на занятиях Д. Баренбойма) или трансформируется в поэтизацию атмосферы проводимых им самим мастер-классов последних лет.

Гибкость методики мастер-класса позволяет ему внедряться в различные профессиональные сферы деятельности, выходящие за пределы собственно творческих практик, таким образом проявляется **адаптационная функция** мастер-класса. На более частном уровне она представлена в невозможности «копирования» метода проведения занятия от одного к другому. Деятельность педагога напрямую зависит как от самой формы мастер-класса, так и представленных в нем исполнителей и публики, их национальности, возраста, способностей, уровня подготовленности, реакции, настроения. Это утверждение справедливо и для однократных занятий, и для деятельности в рамках серий мастер-классов и мастер-курсов с уже известными педагогу условиями. Исполнитель же в условиях мастер-класса знакомится с новым педагогом, новыми педагогическими методиками, нередко противоречащими привычному для него методу обучения основного педагога или самостоятельно выработанному подходу к занятиям.

В более широком охвате – это постановка вопросов о взаимосвязи музыки и публики, а также о необходимости или запрете адаптации музыки прошлого времени к современному слуховому восприятию (при доминирующим визуальном), темпу движения, мышлению. Так, Н. Перельман считал, что прочтения одного и того же произведения должны меняться с течением времени: в конце XX в. главная тема концерта №1 e-moll Ф. Шопена может звучать не лирично, а взволнованно и тревожно [8]. В. Горностаева, на примере Вальса П. Чайковского №9 fis-moll, подчеркивала мысль о недопустимости приспособления движения музыки другой эпохи к жизни нашего «делового» времени: от выбора темпа зависит степень соответствия композиторской идее, степень содержательно-образного раскрытия, осознанности и контролируемости исполнения музыкального произведения, а значит, и понимание музыки слушателем [7].

**Интертекстуальная функция** происходит из представления о свойстве мастер-класса как творимого текста с собственным смысловым потенциалом вступать в диалог с другими текстами как предшествующей, так и окружающей культуры. Интертекстуальность проявляется в наличии в мастер-классе самостоятельных систем – речи, нотного текста, музыкального исполнительства, педагогической деятельности, при этом, адресованных и слушателю/зрителю, который через «вчитывание» в текст личностных смыслов также осуществляет интерпретацию. Таким образом, «... интертекстуальность – это глубина текста, обнаруживающаяся в процессе его взаимодействия с субъектом» [3, с.26].

В музыкальном мастер-классе выявляется постоянное присутствие цитат, аллюзий, отсылок к другим произведениям, в том числе различных видов искусств. Так, к духовной интеграции тяготел А. Скавронский: «...я расскажу, например, о поэме Ленау “Фауст” (у нас она не переводилась), которая послужила Листу основой программы “Мефисто-вальса”, и сюжет этого произведения заставит многих по-новому услышать знакомую пьесу. Или спрошу: а знаете ли вы, какие связи существуют между двумя “Обручениями” – картиной Рафаэля и пьесой Листа?» [9, с. 29].

Телевизионные мастер-классы и онлайн-формы отличаются «включением» работы режиссера, дизайнера и т.д. – то есть каждый из них способен внести собственный смысл в процессе организации формы мастер-класса (например, оформление интерьера для мастер-класса может отсылать к образу времени, цитировать исторический фрагмент).

**Мифопоэтическая функция** мастер-класса – это создание «духа времени», атмосферности проводимого занятия, это прием романтизации как идеализированного представления. Такие педагогические средства, как слово и звуковая иллюстрация служат более сильному проникновению в содержание музыки исполнителя и публики, «оживлению» через активизацию воображения. В телевизионном мастер-классе могут присутствовать «вставки» природы, репродукций картин на фоне исполняемой музыки или речи. Нередко с этой целью избирается сама локация мастер-класса (дом-музей композитора или зал филармонии), музыкальный инструментарий (моцартовский клавесин, шопеновское фортепиано или современный рояль), освещение (свечное, естественное или строго-холодное) и др.

Мастер-класс является результатом художественного сотворчества его участников. Основным критерием художественной ценности выступает гармоничность формы, в которой соединяются глубина и оригинальность идеи, эмоциональная емкость и ассоциативное богатство содержания, виртуозное воплощение и точное воздействие. Таким образом, мастер-класс обладает **художественной функцией**, отражающей сущность многих других его функций.

Об **эстетической функции** мастер-класса говорит то, что его посредством формируются эстетические оценки и вкус, чувство прекрасного и способность восхищаться красотой.

**Заключение.** Проведенный исторический, сравнительный и комплексный анализ мастер-классов позволил выявить их следующие основные функции в музыкальном искусстве: дидактическую, психологическую, коммуникативную, организационную, дискурсивную, аксиологическую, гносеологическую, культурологическую, аккумулирующую, трансформационную, адаптационную, интертекстуальную, мифопоэтическую, художественную, эстетическую.

Все функции мастер-класса взаимосвязаны и взаимообусловлены. Посредством музыки мастер-класс влияет на характер коммуникации, на стиль жизни и особенность духовного развития общества. Функционирование мастер-класса в общемировом культурном пространстве служит его постоянному обновлению и, одновременно, сохранению и передаче традиционного опыта. Функции мастер-класса тесно связаны и с образом мышления адресатов, чьи потребности



закладывают в него сущностные аспекты, что позволяет проводить дальнейшие исследования мастер-класса не только в музыкальной культуре. Таким образом, расширение границ деятельности мастер-класса приводит и к расширению его функций.

#### Литература:

1. Асафьев Б. В. Музыкальная форма как процесс: книга первая и вторая. 2-е изд. / Б. В. Асафьев. – Л.: Музыка, 1971. – 376 с.
2. Кирнарская Д. К. Психология музыкальной деятельности. Теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа. <http://glierinstitute.org/ukr/study-materials/4/kinarskaya.pdf> (дата обращения: 19.03.2021)
3. Кузьмина Н. А. Интертекст и его роль в процессах эволюции поэтического языка / Н. А. Кузьмина. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.
4. Лихачев Д. С. Письма о добром и прекрасном / Д. С. Лихачев. - Москва: Дет. лит., 1989. – 238 с.
5. Медушевский В. В. Интонационная форма музыки / В. В. Медушевский. – М.: Композитор, 1993. – 262 с.
6. Мороз Е. С. К вопросу типологии мастер-классов в фортепианном исполнительском искусстве / Е. С. Мороз, В. Н. Сахарова // Вести Института современных знаний, 2021. – № 1. – С. 42-46.
7. На уроках Веры Горностаевой // М. Самсонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://youtu.be/sLyUolljOok?t=5171> (дата обращения: 19.03.2021)
8. Пальмов В. Учитель, любовь и свобода. Перельман Н. Е. Беседы у рояля. Воспоминания. Письма // Газета «Музыкальное обозрение» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://muzobozrenie.ru/uchitel-lyubov-i-svoboda-perel-man-n-e-besedy-u-royalya-vozpominaniya-pis-ma/> (дата обращения: 19.03.2021)
9. Скавронский А. Г. Статьи, критические очерки, рецензии, интервью. 2-е изд. / А. Г. Скавронский. – М.: РАМ им. Гнесиных, 2001. – 228 с.

# ЭКОНОМИКА

## БЕЗУСЛОВНЫЙ БАЗОВЫЙ ДОХОД КАК ИНСТРУМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

*Пинчук Дарья Вадимовна*

Академия управления при Президенте Республики Беларусь  
студент

*Гайдук Иван Александрович, студент, Академия Управления при Президенте Республики Беларусь; Попова Татьяна Евгеньевна, магистр экономики и управления, Академия управления при Президенте Республики Беларусь*

**Ключевые слова:** безусловный базовый доход; концепция; эксперимент; внедрение

**Keywords:** unconditional basic income; concept; experiment; implementation

**Аннотация:** В данной статье рассматривается идея безусловного базового дохода, которая на текущий момент находит свое воплощение в экспериментах или в пилотных проектах различных государств. Представлен опыт зарубежных стран, таких как, Канада и Швейцария. Изучены преимущества и недостатки практики внедрения безусловного базового дохода.

**Abstract:** This article discusses the idea of an unconditional basic income, which is currently being embodied in experiments or pilot projects in various countries. The experience of foreign countries such as Canada and Switzerland is presented. The advantages and disadvantages of the practice of introducing an unconditional basic income have been studied.

### УДК 338.28

Тема **актуальна**, так как безусловный базовый доход включен в ряд пилотных отдельных стран и требует более точного анализа преимуществ и недостатков для последующего внедрения в политику государственного регулирования.

**Новизна:** усовершенствование существующих проектов, ориентированных на использование концепции безусловного базового дохода.

### Задачи:

- 1) определение преимуществ концепции безусловного базового дохода;
- 2) анализ использования безусловного базового дохода в Канаде и Швейцарии;
- 3) решение о практике внедрения механизма государственных выплат в пилотных проектах.

Объект: концепция безусловного базового дохода.

Предмет: усовершенствование механизма внедрения безусловного базового дохода.

Методология: выявление, индукция, систематизация.

Тема безусловного базового дохода является обсуждаемой на протяжении многих веков. Существует мнение, что данный вид государственной поддержки упрощает жизнь населению страны: дает больше свободного времени, а также делает достойным уровень жизни. Актуальность темы безусловного базового дохода обусловлена проблемами технологической безработицы, так как бытует версия, что такой вид поддержки со стороны государства сможет решить эти проблемы. Однако возникает проблематичная ситуация, суть которой заключается в перспективной возможности исчезновения мотивации у людей к работе. Вопрос очень спорный, и вследствие этого необходимо изучить опыт некоторых стран в области введения в государственную политику безусловного базового дохода.

Если обратиться к истории, то можно заметить, что идея всеобщего минимального дохода впервые была упомянута в 16 веке, а именно в “Утопии” Томаса Мора. Он считал, что эта мера позволит сократить процент безработного населения и количество маргинальных групп, а также экономическое давление на человека: «Вместо того, чтобы налагать эти ужасные наказания, было бы гораздо важнее предоставить каждому средства к существованию, чтобы никто не оказался под страшной необходимостью стать сначала вором, а потом трупом» [1].

Безусловный базовый доход понимается как социальная концепция, которая предполагает регулярную выплату определенной денежной суммы каждому представителю определенного сообщества со стороны государства [2]. Также существует понятие, что безусловный базовый доход - это регулярная (ежемесячная) выплата всем гражданам одной и той же суммы денег независимо от каких-либо условий и характеристик ситуации, в которой находятся получатели [3].

Безусловный базовый доход отличается своей универсальностью, которую также можно назвать безусловностью. Как известно, традиционные пособия выплачиваются тем, кто находится в трудной ситуации. И очень важно, чтобы государство признало факт существования такой ситуации, убедиться в соответствии определенных критериев (условий), например, нуждаемость, безработица, недостаток дохода и т. д. И, соответственно, чем больше таких условий, то тем больше и видов данных пособий. Базовый доход выплачивается всем гражданам автоматическим, что и делает его выделяющимся среди других, дает поле для размышлений над практикой внедрения такого инструмента государственного регулирования.

Если же говорить о том, что поддерживает идею безусловного базового дохода, то, в первую очередь, ожидается, что ББД позволит сократить бюджетные расходы. Для того, чтобы получить пособие, необходимо подкрепить его определенными операциями. Например, у человека, который хочет получить пособие по безработице, должны провести проверку на наличие этого факта (приход службы занятости). В базовом доходе это не предполагается, поскольку он выдается всем без исключения [4].

Во-вторых, в ситуации со сложной системой выплаты пособий всё приводит к тому, что некоторые люди фактически их не получают (в силу территориальной

удаленности, неполной информированности о существовании и порядке выплаты). В ББД эта проблема предположительно исчезает. Опять же в силу своей массовой распространенности [5].

Также бытует мнение, что безусловный доход может помочь решить проблему технологической безработицы: из-за автоматизации рабочих процессов исчезают рабочие места.

Стоит упомянуть то, что якобы люди станут больше заниматься тем, что им нравится. В следствие чего улучшится их психологическое состояние и здоровье.

Перечисленные особенности являются наиболее распространёнными среди тех, кто является сторонниками ББД. Однако, немало важно отметить, что проверка этих утверждений заключается исключительно в опыте ряда стран, их пилотных проектов и уже прошедших экспериментах.

Канада была одной из первых стран, где проводились испытания. Правительственный эксперимент Mincome, который проводился в 1970-х гг. в городе Дофине сначала показал положительные результаты: улучшение здоровья и психического состояния граждан. Однако из-за закончившихся средств, а также смены правительства эксперимент был прекращен, что говорит нам об отрицательном исходе событий [6].

В 2017 году, в провинции Онтарио (Канада) был запущен аналогичный проект, который проводился между 4 тысячами случайно выбранных жителей нескольких городов, с условием, что они зарабатывают на одного человека не более 34 тысяч долларов США, а на двух менее 48 тысяч долларов США. В течение года эти люди получали ежемесячное пособие в размере 17 тысяч, а на пару 24 тысячи долларов США. В результате решения администрации провинции, проект был закрыт, поскольку не получилось покрыть расходы на проведение эксперимента. Администрация сделала вывод, что лучшая программа-это работа для всех, кто «в состоянии» работать [7].

Также эксперимент проводился в Финляндии по идее правительства, а осуществлялся Управлением социального страхования Kela. Две тысячи случайно отобранных участников с января 2017 года получили по 560 евро. В процессе эксперимента Kela столкнулись с большим количеством трудностей. Например, общий бюджет проекта по началу составил 20 миллионов евро, чего должно было хватить с 2017 по 2019 год. В итоге число участников сократилось в пять раз, а сумма выплат уменьшилась в пять раз [8].

Эти проблемы объясняются трудностью разработки данного проекта (здесь же на планирование было выделено только 700 тысяч евро). Также на этапе подготовке правительство боролось с бюрократами, которые хотели закрыть проект. Конституция Финляндии запрещает сегрегировать ее граждан. Поэтому от идеи создания нескольких групп с разными условиями пришлось отказаться, и даже с этим условием, разрешение на проведение эксперимента дали только за месяц до начала. Евросоюз также скептически отнесся к эксперименту из-за опасения. Их мнение состоит в том, что такие выплаты повлекут нежелательные последствия в других странах. Также некоторые партии опасались, что эксперимент приведет к гендерному неравенству, так как женщины будут сидеть дома, вместо того, чтобы выходить на

работу. Всё это и объясняет решение правительства свернуть проект в конце 2018 года и не продлевать его, как было запланировано.

Вопрос о введении гарантированных выплат решался и в Швейцарии, когда на референдуме 2016 года была выдвинута инициатива о ББД. Однако большинство голосов (77 процентов) выступили против введения гарантированного дохода. Против этой идеи выступало правительство, которое утверждало, что в перспективе это повлечет за собой невозможность покрытия доходов при нынешней системе социального обеспечения Швейцарии [9].

Все эти негативные последствия внедрения базового дохода отражают аргументы, которые приводят те, кто не является сторонником этой идеи или же считает ее полностью нерентабельной.

Таким образом, исходя из опыта зарубежных стран в инициативе внедрения безусловного базового дохода, можно сделать вывод, что идея безусловного базового дохода хоть и имеет ряд рассматриваемых преимуществ (решение проблемы безработицы, выбора деятельности и др.), о которых уже упоминалось ранее, однако эти преимущества не доказаны эмпирическим путем. В процессе всех экспериментов различные государства сталкиваются со схожими проблемами:

1. Система требует большого количества затрат
2. Идея внедрения базового дохода может стать причиной массового притока мигрантов
3. Гарантированный доход уменьшает стимул населения к труду, что способствует снижению занятости и, как следствие, производительности труда в обществе
4. Исчезновение необходимости трудиться лишает человеческую деятельность самого главного- способности к труду, и существенно увеличивает риск «заката» человеческой цивилизации.

Можно сказать, что какими бы преимуществами в предположении не обладал безусловный базовый доход, такая система социальной поддержки не сможет решить фундаментальных проблем, с которыми всегда сталкивается любое социальное государство.

#### **Литература:**

1. Генкель А.Г. Утопия : учеб. для вузов. — М.: Пролетария, 1923. — С. 148.
2. Группа Всемирного банка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/469061544801350816/pdf/WDR-2019-RUSSIAN.pdf> (дата обращения: 01.12.2020).
3. Медиахолдинг «РосБизнесКонсалтинг» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/01/02/2016/56aebd7f9a794702d9cb8064> (дата обращения: 01.12.2020).
4. Акерлоф Дж. Рынок «лимонов»: неопределенность качества и рыночный механизм // THESIS. 1994. № 5. С. 91–104.
5. Пеннингтон М. Классический либерализм и будущее социально-экономической политики. М.: Мысль, 2014.
6. Миклашевская А. Жителям Онтарио оплатят достойный уровень жизни [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3286949> (дата обращения: 04.12.2020).

7. Ontario Basic Income Pilot [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ontario.ca/page/ontario-basic-income-pilot> (дата обращения: 04.12.2020).
8. Поливанов А. В Финляндии две тысячи человек уже полгода получают безусловный доход [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://meduza.io> (дата обращения: 06.12.2020).

## ОБРАЗОВАНИЕ

### ПОТЕНЦИАЛ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ОБУЧЕНИИ РУССКОМУ ЯЗЫКУ

**Водясова Любовь Петровна**

доктор филологических наук, профессор  
ФГБОУ ВО "Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е.  
Евсевьева"  
профессор

**Пономарева Татьяна Юрьевна, учитель русского языка и литературы МБОУ  
«Средняя общеобразовательная школа № 17», г. Рузаевка; магистрант 2  
года заочной формы обучения профиля «Преподавание филологических  
дисциплин» ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический  
университет имени М. Е. Евсевьева», г. Саранск**

**Ключевые слова:** русский язык; урок; средство обучения; мобильное устройство; мобильные приложения

**Keywords:** Russian language; lesson; a learning tool; mobile devices; mobile applications

**Аннотация:** В статье рассматривается роль мобильных приложений как средства обучения на уроках русского языка. Среди их главных преимуществ следующие: 1) усиление мотивации к обучению; 2) улучшение навыка самостоятельного распределения времени и организации собственной деятельности; 3) изменение контроля за процессом подготовки к уроку.

**Abstract:** The article examines the role of mobile devices as a means of learning from Russian language lessons. Among their main advantages are: 1) increased motivation to learn; 2) improving the self-distribution skills of time and organizing your own activities; 3) changing control over the preparation process for the lesson.

**УДК 372.881.116.11(045)**

#### **Введение**

В последнее десятилетие в школьной практике популярность набирает использование обучающих мобильных приложений в связи с повсеместным распространением смартфонов. Мобильные приложения, в отличие от традиционных

материалов, обеспечивают постоянный доступ к учебным и справочным ресурсам, поддерживают обратную связь между педагогом и учениками. Они способны повышать мотивацию учащихся, а также учитывать их индивидуальные особенности.

**Актуальность** исследования определяется тем, что мобильные приложения для обучения русскому языку не достаточно разработаны, что говорит и о не изученности данного направления в лингвометодике.

### **Цели, задачи, материалы и методы**

**Цель** настоящей статьи состоит в описании потенциала мобильных приложений в обучении русскому языку на различных этапах урока для решения тех или иных дидактических задач, а также во внеурочное время при выполнении домашних заданий, подготовке к внеклассным мероприятиям и пр.

**Задачи** исследования нами были сформулированы следующим образом: а) описать роль обучающих мобильных приложений для внедрения в образовательный процесс по обучению русскому языку; б) определить их позитивные и негативные стороны; в) выявить факторы включения в процесс обучения русскому языку.

В работе использованы теоретический и эмпирический **методы** исследования. Теоретический предполагал анализ научной литературы по исследуемой проблеме, эмпирический – наблюдение над процессом обучения.

### **Научная новизна**

Применение мобильных средств помогает совершенствовать процесс обучения в школе, так как они способны: 1) реализовывать единообразный контроль за уровнем знаний учащихся; 2) упрощать проведение контрольно-измерительных работ; 3) упрощать, а соответственно и ускорять, процесс взаимодействия педагога и обучающихся; 4) проводить интенсификацию и модернизацию учебного процесса; 5) грамотно распределять образовательный ресурс; 6) обеспечивать совместную деятельность обучающихся без привязки к местоположению образовательного процесса; 7) использовать персональное мобильное устройство в качестве медиатеки учебных, методических и справочных материалов; 8) подключать мобильное устройство к приборам и устройствам в сети учебного заведения в образовательных и учебно-исследовательских целях; 9) собирать информацию об окружающей среде с целью проведения исследования.

С. А. Тимофеева совершенно правомерно указывает, что высокий потенциал мобильных устройств и технологий в обучении диктует применение новых форм деятельности, поэтому требует создания условий для их «грамотной интеграции», способствующей переходу к новой образовательной модели школы [3].

В настоящее время разработано достаточно много приложений (программ) для мобильных устройств, которые можно использовать в учебном процессе на разных этапах на уроках русского языка. Так, педагоги-русисты достаточно активно используют видео- и аудиолекции, интерактивные учебники, возможности Google. Приложения Pages, Keynote, Nearpod открывают новые горизонты для работы с информацией. Альтернативой программе Word является приложение Pages, служащее для создания различных текстовых документов.

Вслед за А. Н. Русак [2] мы считаем, что мобильные приложения, используемые на уроках русского языка, направлены на решение следующих задач:

- 1) создание персональной образовательной среды. Обучающийся после изучения нового материала может подобрать для себя систему его повторения (настроить для себя определенные напоминания, которые в течение каких-либо промежутков времени будут появляться на экране его мобильного телефона и требовать обращения к изученному материалу). Это будет способствовать тому, что ученик не забудет о повторении, а материал для этого будет находиться в активной долговременной памяти;
- 2) организация самоконтроля (с помощью мобильного приложения можно оценивать собственную деятельность, наблюдать за своим прогрессом или регрессом, анализировать ход своей работы, определять ее дальнейшую стратегию);
- 3) динамичная смена видов учебной деятельности, позволяющая удерживать внимание обучающихся и определять возможность, каким образом их можно заинтересовать в дальнейшем;
- 4) представление большого количества информации в компактной форме, позволяющей её усвоить наилучшим образом, систематизировать и запомнить;
- 5) обеспечение мобильного непрерывного образования и самообразования.

В целом же, мобильные приложения, созданные по определенным разделам, темам русского языка, позволяют учащимся использовать их непрерывно, повсеместно, в компактной форме, в любом месте и при удобном моменте.

Ряд исследователей (например, А. М. Федотенко) среди главных их преимуществ выделяет такие, как: 1) более эффективное усвоение материала; 2) повышение интереса к изучаемому, усиление мотивации; 3) улучшение навыка самостоятельного распределения времени и организации собственной деятельности; 4) изменение контроля за процессом подготовки. В список преимуществ можно добавить и следующие: 1) способность развивать творческие умения и познавательный интерес; 2) формирование положительной мотивации к обучению; 3) возможность развития навыков работы с различными информационными источниками, формирование информационной культуры, выработка умения осуществлять обработку информации. К достоинствам мобильных приложений можно отнести также развитие личности обучаемого, в том числе: 1) повышение уровня различных видов мышления: наглядно-образного, теоретического, интуитивного и творческого; 2) развитие эстетического воспитания из-за возможностей компьютерной графики, мультимедиа; 3) создание условий для принятия оптимальных решений в сложной ситуации (использование приложений, направленных на оптимизацию деятельности в связи с принятием решения).

Исследователи (Т. С. Мамонтова, Н. С. Наумчик, С. В. Титова, А. Н. Русак и др.) неоднократно отмечали творческую направленность в использовании мобильных приложений, открывающих новые возможности в организации учебного процесса: интересные домашние задания, проектные работы, опросы и тесты во время урока, контрольные и проверочные работы. И это действительно так. Мобильные приложения помогают учителю сделать урок интереснее, увлечь детей, грамотно



распределить время. Все это эффективно влияет на успеваемость учеников. Но с другой стороны, существуют и отрицательные моменты обучающих мобильных приложений. В негативном плане мы вслед за Т. С. Мамонтовой и Н. С. Наумчик [1] выделяем два аспекта: 1) административно-организационный аспект, что предполагает сложность интегрирования мобильных приложений в учебный процесс из-за предубеждения администрации школы, а часто и самих педагогов, к использованию на уроках мобильного телефона; 2) методологический аспект, означающий, прежде всего, неподготовленность учителей-предметников к внедрению в учебный процесс мобильных приложений, заданий из-за отсутствия нужного уровня информационной компетентности. Соответственно, эти аспекты необходимо учитывать при организации учебного процесса.

Помимо того, что нужно учитывать плюсы и минусы мобильных приложений для работы с ними на уроках русского языка, необходимо знать критерии, по которым выбирается наиболее подходящее приложение среди остальной массы. Согласно исследованиям С. В. Титовой [4] критерии делятся на такие группы:

1) технические, к которым относятся: доступность для различных операционных систем, возможность использования на различных технических средствах, необходимость интернета для работы с приложением;

2) организационно-финансовые, среди которых выделяется наличие платной / бесплатной версии или демоверсии;

3) психолого-педагогические, подразделяемые, в свою очередь, на три подгруппы:

а) **общедидактические** (принцип гуманной направленности, принцип наглядности, принцип научности, принцип доступности и систематичности и другие);  
 б) **специфические**, которые распространяются лишь на мобильные приложения (поддержка аудио или видео, емкость учебной информации, способы реализации интерактивности, доступность результатов обучения для преподавателя, возможность многократного выполнения заданий);

в) частнометодические, среди которых: раздел языкового материала, формат упражнений;

4) эргономические, т. е. удобство интерфейса обучающего приложения для использования.

После того, как мы выяснили положительные и отрицательные стороны использования мобильных приложений на уроках русского языка, разобрали критерии отбора приложений, необходимо установить способы интеграции мобильных приложений в обучение.

К факторам, определяющим способы включения мобильных приложений, относятся: 1) место использования (для использования в классе есть мобильные приложения, дополняющие учебные пособия или мобильные приложения, позволяющие самостоятельно изучать дисциплину; для использования вне класса существуют мобильные приложения, разработанные для дистанционного (мобильного) обучения); 2) частота применения (использование мобильных приложений ежедневно при изучении материала, по необходимости при закреплении или

просьбе учителя, либо по собственному желанию); 3) применение личных мобильных устройств обучающихся или устройств, предоставленных учебным заведением.

Как было уже сказано выше, при обучении русскому языку мобильные приложения могут применяться на любом этапе урока для решения тех или иных дидактических задач, во внеурочное время при выполнении домашних заданий, подготовке к внеклассным мероприятиям и т. д. Однако, на наш взгляд, наиболее целесообразно их использовать на следующих этапах:

- 1) изучение нового материала. На данном этапе урока учителя давно используют видео и аудиолекции, интерактивные учебники, возможности Google. Приложения Pages, Keynote, Nearpod открывают новые горизонты для работы с информацией;
- 2) закрепление материала, пройденного на данном или предыдущем уроке;
- 3) обобщение материала. Чтобы сгруппировать материал, удобнее всего использовать приложения Poppletlite, Inspiration, которые имеют набор макетов для схем, а ученик должен заполнить их необходимым материалом;
- 4) повторение ранее изученного материала;
- 5) оценивание качества усвоения знаний (контролирующие мероприятия легко провести с помощью приложений Nearpod или Socrativ);
- 6) использование на этапе рефлексии;
- 7) домашнее задание (например, можно разослать задания ученикам с помощью приложений ShowBie и UPADLite).

## **Заключение**

Применение на уроках мобильных приложений – огромная ступень в развитии системы образования, поскольку в информационный век позволяет значительно упростить ряд сложностей в обучении. Однако для получения качественного образования необходимо приложить огромное количество усилий не только программистов и методистов в разработке приложений, создании технологии мобильного обучения, но прежде всего педагогов, так как именно они претворяют технологию мобильного обучения в жизнь.

## **Литература:**

1. Мамонтова Т. С., Наумчик Н. С. Смартфоны как средство обучения школьников // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. / под ред. А. Г. Ивашко, В.Н. Кутрунова; Тюменский гос. ун-т. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2018. – С. 476–479.
2. Русак А. Н. Мобильные образовательные приложения как электронная обучающая среда // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XXIII регион. науч.-практ. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, 15 февр. 2018 г. / ред.: И. М. Прищепа, В.Я. Кузьменко; Витебский гос. ун-т. – Витебск: Изд-во ВГУ, 2018. – С. 54–55.
3. Тимофеева С. А. Использование мобильных средств обучения в школе // Педагогическое мастерство и педагогические технологии. – 2015. – № 3 (5). –С. 323–

325.

4. Титова С. В. Дидактические проблемы интеграции мобильных приложений в учебный процесс // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2016. – Т. 21. – № 7–8. – С. 7–14.