

ISSN 2617-7609; eISSN 2617-7595

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҮЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТИ

Ашық жүйелер эволюциясының мәселелері

ЖУРНАЛЫ

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ЖУРНАЛ

проблем эволюции открытых систем

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

JOURNAL

of open systems evolution problems

№2 (27)

Алматы
«Қазақ университеті»
2025



АШЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ЭВОЛЮЦИЯСЫНЫҢ МӘСЕЛЕЛЕРИ

ЖУРНАЛЫ

№ 2 (27)



03.02.2003 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Күөлік № KZ18VPY00064016

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР

Нұргалиева Құралай Еркенқызы, ф.-м.ғ.к., аға оқытушы
(Қазақстан)
e-mail: peosjpurnal@gmail.com

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Сомсиков В.М., ф.-м.ғ.д., профессор (бас редактор)
(Қазақстан)
Алексеева Л.А., ф.-м.ғ.д., профессор (бас редактордың орынбасары) (Қазақстан)
Женіс Ж., профессор, PhD (бас редактордың орынбасары) (Қазақстан)
Жанабаев З.Ж., ф.-м.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Писарчик А., ф.-м.ғ.д., профессор (Испания)
Рамазанов Т.С., ф.-м.ғ.д., КР YFA академигі, профессор (Қазақстан)

Кершенгольц Б.М., б.ғ.д., профессор (Ресей)

Михаэль Ружански (Michael Ruzhansky), профессор, Британ математикалық коллежі (Ұлыбритания)
Алипова Б., профессор, PhD (АҚШ)
Абишев М.Е., ф.-м.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Алдияров А.У., ф.-м.ғ.к., қауымд.профессор (Қазақстан)
Омаров Ч.Т., ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Лаврищев О.А., ф.-м.ғ.к. (бас редактордың орынбасары) (Қазақстан)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Тажен А., PhD (Қазақстан)

Ашық жүйелер эволюциясының мәселелері журналы – ашық тенденсеген динамикалық табиғи жүйелердің пайда болуы мен эволюциясы мәселелері бойынша бірегей ғылыми және шолу мәкалаларын жариялайтын ғылыми басылым.



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index *

EBSCO

ROAD

doi
DIGITAL
OBJECT
IDENTIFIER



Гүльмира Шаккозова
Телефон: +7 701 724 2911
e-mail: Gulmira.Shakkozova@kaznu.kz

ИБ № 17005

Пішімі 60x84/8. Көлемі 6,5 б.т. Тапсырыс № 3067.
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің «Қазақ университеті» баспа үйі.
050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71.
«Қазақ университеті» баспа үйінің баспаханасында басылды.


B.M. Сомсиков

НИИЭТФ, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: profsoms@gmail.com

СТРУКТУРНОСТЬ МАТЕРИИ В ФИЗИКЕ

Работа посвящена изучению роли структурности материи в процессах ее эволюции, а также в физике в целом. Доказана необходимость учета ее роли при создании картины мира с учетом его эволюции, а также при построении нового раздела физики – физики эволюции. Показано, почему и как можно построить физику эволюции, опираясь на уравнение движения, учитывавшего влияние структурности тела на характер его движения в неоднородном пространстве сил. Дано краткое объяснение выводов уравнения движения, учитывавшего роль структурности тела в его динамике. Предложено объяснение, почему это уравнение следует выводить из условия сохранения полной энергии, и почему ее следует представлять в виде суммы энергии движения, а также внутренней энергии. Такое представление полной энергии необходимо в соответствии с принципом дуализма симметрии. Показано, как учет роли структурности элементов материи в их динамике приводит к устранению противоречия между механикой, статистической физикой и термодинамикой. Демонстрируется, как из данного уравнения следует второй закон термодинамики, а также бесконечная делимость материи. Рассмотрено, как из условия бесконечной делимости материи следует возможность построения эволюционной картины мира. Выполнен анализ существующих физических проблем, для решения которых необходим учет структурности материи. В частности, рассмотрено, как условие бесконечной делимости материи может отразиться на интерпретации некоторых фундаментальных положений квантовой механики. Рассмотрено уравнение движения квантовой частицы с учетом ее структурности и определены свойства этого уравнения. Показано, что для элементарной структурированной квантовой частицы квантово-волновой дуализм обусловлен наличием внутренней энергии, обеспечивающей внутреннее колебание частицы, и энергии движения, обеспечивающей движение колеблющей частицы в пространстве.

Ключевые слова: эволюция, механика, термодинамика, энтропия, энергия.

V.M. Somsikov

IETP, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: profsoms@gmail.com

Structure of matter in physics

The work is devoted to the study of the role of the structure of matter in the processes of its evolution, as well as in physics in general. It demonstrates the necessity of taking this role into account when constructing a picture of the world that takes its evolution into account, as well as when constructing a new branch of physics—the physics of evolution. It demonstrates why and how evolutionary physics can be constructed based on an equation of motion that accounts for the influence of a body's structure on the nature of its motion in a heterogeneous force space. A brief explanation of the derivations of the equation of motion, which takes into account the role of a body's structure in its dynamics, is provided. An explanation is offered for why this equation should be derived from the condition of conservation of total energy and why it should be represented as the sum of the energy of motion and the internal energy. Such a representation of the total energy is necessary in accordance with the principle of dualism of symmetry. It is shown how taking into account the role of the structure of elements of matter in their dynamics leads to the elimination of the contradiction between mechanics, statistical physics, and thermodynamics. It is demonstrated how the second law of thermodynamics follows from this equation, as well as the infinite divisibility of matter. It is considered how the possibility of constructing an evolutionary picture of the world follows from the condition of infinite divisibility of matter. An analysis of existing physical problems is performed, the solution of which requires taking into account the structure of matter. In particular, it is considered how the condition of infinite divisibility of matter can affect the interpretation of some fundamental principles of quantum mechanics. The equation of motion of a quantum particle is considered, taking into account its structure, and the properties of this equation are determined. It is shown that for an elementary structured quantum particle, quantum-wave duality is

determined by the presence of internal energy, which provides the particle's internal oscillation, and the energy of motion, which provides the oscillating particle's motion in space.

Keywords: evolution, mechanics, thermodynamics, entropy, energy.

В.М. Сомсиков

ҒЗИӘТФ, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: profsoms@gmail.com

Физикадағы материяның құрылымдылығы

Материя құрылымының оның динамикасындағы рөлін ескермей, дүниенің эволюциялық, картинасын құру мүмкін емес екені көрсетілген. Жүйелердің пайда болу, даму және ыдырау процесстерін сипаттайтын эволюция физикасын құру қажеттілігінің негізdemесі ұсынылған. Құрылымдық, дененің қозғалыс тендеуі негізінде эволюция физикасын неге және қалай құруға болатындығы көрсетілген. Бұл тендеуді қозғалыс энергиясы мен дененің ішкі энергиясының қосындысымен ұсынылған толық энергияның инварианттық жағдайынан қалай алуға болатындығы туралы қысқаша түсініктеме берілген. Толық энергияның мұндай көрінісі симметрия дуализм принципіне сәйкес қажет. Олардың динамикасындағы материя элементтерінің құрылымдық, рөлін есепке алу меканика, статистикалық физика және термодинамика арасындағы қайшылықты жоюға қалай әкелетіні көрсетілген. Берілген тендеуден термодинамиканың екінші заңы, сондай-ақ заттың шексіз бөлінуі қалай пайда болатындығы көрсетілген. Материяның шексіз бөліну жағдайынан әлемнің эволюциялық, бейнесін құру мүмкіндігі қалай пайда болатындығы қарастырылады. Қолданыстағы физикалық проблемаларға талдау жасалды, оларды шешу үшін материяның құрылымын ескеру қажет. Атап айтқанда, материяның шексіз бөліну шарты кванттық механиканың кейбір негізгі ережелерін түсіндіруге қалай әсер етуі мүмкін екендігі қарастырылады. Құрылымдық кванттық бөлшектің қозғалыс тендеуі берілген және осы тендеудің қасиеттері анықталған.

Түйін сөздер: эволюция, механика, термодинамика, энтропия, энергия.

Введение

Физика, как и природа, развивается от простого к сложному, решая новые задачи и новые проблемы, возникающие в процессе ее развития [1]. Среди этих проблем существуют ключевые, без решения которых дальнейшее развитие физики испытывает большие трудности [2]. Такой проблемой является обоснование второго закона термодинамики в рамках классической механики [3-8]. Как нами было показано ранее, классическая механика исключает саму возможность решения этой проблемы [9]. Это бы не мешало развитию физики, если бы использование статистических закономерностей для объяснения механизма необратимости не исключало возможности описания эволюции. Но мир возник в результате эволюции материи. А она немыслима без второго закона термодинамики. Поэтому без понимания второго закона термодинамики без *детерминированного механизма необратимости* (ДМН) невозможно создание эволюционной картины мира в рамках законов физики [3-6].

Если мир развивается от простого к сложному, если при этом его возникновение определяется принципом причинности, то ДМН

должен существовать. Все это подтверждает предположение о наличии ограничений классической механики, исключающих объяснение второго закона термодинамики.

Проблема изучения эволюции в рамках законов физики обострилась еще в связи с созданием квантовой механики. Квантовая механика содержит принцип неопределенности Гейзенберга, который исключает причинно-следственные связи в физике. Поэтому для дальнейшего развития физики эволюции необходимо найти расширить классическую и квантовую механику так, чтобы они позволяли объяснить ДМН. Здесь покажем, что такое расширения возникают при учете роли структур тел в их динамике.

Методы

О понятии физики эволюции и проблеме необратимости

Движение и взаимодействия тел, их эволюция являются неотъемлемыми свойствами материи. Однако современная физика не учитывает эволюцию, а отображает стационарное состояние окружающих объектов [3]. То, что эволюция также является неотъемлемым

свойством материи, подтверждается тем, что задача всей науки заключается по существующему в данный момент состоянию системы определить ее будущее состояние.

Концепция эволюции возникла в древней Греции. Она относится к биологии, физике и социологии. Современное представление об эволюции живой материи принято связывать с трудами Чарльза Дарвина и Грегора Менделя [7,8].

В настоящее время связь между эволюцией живой и костной материи мало изучена. Более того, и определения эволюции для костной и живой материи различны. Эволюция для живой материи, как правило, определяется, как адаптация организмов к изменяющимся условиям их существования. А под эволюцией костной материи понимают изменение картины мира во времени. Здесь мы под эволюцией предлагаем понимать необратимые и нелинейные процессы возникновения, развития и распада объектов природы.

Если исходить из условия единства природы и учитывать, что количество рождает качество, то принципы и законы эволюции живой материи должны иметь начало в законах эволюции костной материи. Поэтому, не поняв законы эволюции костной материи, нельзя понять более сложные законы эволюции живой материи. Следовательно, должна существовать причинно-следственная связь между эволюцией костной и живой материями. Поскольку мир развивался эволюционным путем от простого к сложному, то следует ожидать, что костная материя первична относительно живой материи. Следовательно, изучение эволюции необходимо начинать с изучения костной материи, то есть, строить эволюционную картину мира, двигаясь от простого к сложному. При этом костную материю следует изучать в рамках законов физики. Здесь основные задачи эволюции сводятся к изучению проблем возникновения систем материи, их развитию со временем и вопросов, связанных с распадом систем. Все эти задачи входят в новый раздел науки- «Физика эволюции».

Развитие «Физики эволюции» стало особенно актуальным в последние годы в связи с катастрофическими изменениями природы, климата, общества. Роль «Физики эволюции» для физики особенно четко видна на примере построения космологической эволюционной

теории Вселенной. Сегодня эта теория строится на основе классической механики, статистической физики, термодинамики, физики элементарных частиц. Но ее дальнейшее развитие столкнулось с проблемами, обусловленными ограничениями соответствующих разделов, их недостаточной согласованностью, фрагментарностью физики, нарушением принципа причинности. С этими проблемами столкнулось и создание единой физической теории [10]. Главным аргументом в пользу существования такой теории является единство законов природы, включая законы эволюции [11]. Для создания «единой теории всего» и построения физики эволюции, в частности, в первую очередь требуется устранение противоречий между классической механикой, термодинамикой, квантовой механикой.

Классическая механика, так или иначе, лежит в основах всех разделов физики. Поэтому естественно, что ее ограничения определяют ограничения всей физики. Пожалуй, главное ее ограничение, препятствующее изучению эволюции, это обратимость динамики тел, противоречащая второму закону термодинамики [12-14].

Первые попытки решить проблему необратимости принадлежат Больцману. Для поиска ее решения им была развита молекулярно-кинетическая теория вещества. На ее основе Больцман предложил решение проблемы необратимости, которое, по своей сути, является статистическим [3,4,15]. Сегодня это решение легло в основу общепринятого объяснения механизма необратимости. Оно опирается на положительность показателей Ляпунова для гамильтоновых систем и вытекающую отсюда экспоненциальную неустойчивость фазовых траекторий. Это неустойчивость при сколь угодно малых флуктуациях внешних параметров и приводит к необратимости [4-6]. И хотя этот механизм прекрасно описывает реальность, он не удовлетворяет принципу причинности, не позволяет ответить на вопрос, как рождаются новые свойства систем, которых нет у их элементов [16-18]. Поэтому это решение сложно использовать для построения эволюционной картины мира в рамках законов физики.

Таким образом, все предпринятые попытки найти ДМН в рамках классической механики не достигли цели. Проблема необратимости еще больше усугубилась в связи с появлением квантовой механики, которая в своей основе

содержит принцип неопределенности. Наличие этого принципа даже заставило предположить, что «стрела времени» имеет фундаментальный характер, а не просто является следствием законов физики [19, 20]. Но если исходить из того условия, что мир познаем и в нем существует принцип причинности, без которого мир не смог бы и возникнуть эволюционным путем, то «стрела времени» должна вытекать из фундаментальных законов физики. Все это может означать только одно – существующие формализмы классической механики имеют ограничения, исключающие принципиальную возможность объяснения ДМН. В этом случае для решения проблемы необратимости необходимо было найти и исключить существующие ограничения так, чтобы классическая механика содержала в себе ДМН [21,22]. То есть, следовало понять природу ограничений классической механики, которые исключают ДМН. Только определив эти ограничения можно найти способ их устранения. При этом необходимо, чтобы полученное расширение классической механики удовлетворяло принципу соответствия, поскольку любая новая научная теория должна включать, как частный случай, старую теорию [23]. Это означает, в частности, что из него должен следовать статистический механизм необратимости.

Проблема необратимости в значительной степени повлияла на то, что динамика тел и их внутреннее состояние изучаются раздельно. В результате сегодня физика распадается на два раздела. В одном из них, как правило, в рамках классической механики, решаются задачи динамики взаимодействующих объектов. Решение этих задач опираются на развитые в рамках законов Ньютона формализмы. Причем эти формализмы были построены при сильных ограничениях, которые исключают возможность учета роли диссипативных процессов в динамике тел. Но без диссипации динамика тел обратима. То есть, она уже не содержит эволюцию. Поэтому существующую классическую механику невозможно использовать для построения физики эволюции [14].

В другом разделе изучаются законы поведения внутренних состояний тел без учета их взаимосвязи с динамикой. Для этого используются методы статистической физики. Но эти методы трудно использовать для описания процессов эволюции, поскольку они

не удовлетворяют принципу причинности [15]. Другая трудность описания эволюции обусловлена тем, что эволюция связана как с динамикой тел, так и с изменениями их внутренних состояний. Поэтому для построения «физики эволюции» необходимо снять противоречия между этими двумя разделами физики. Это означает, что статистические методы, которые достаточно хорошо описывают внутренние состояния систем, должны вытекать из детерминированных законов физики.

Относительно недавно был предложен необходимый ДМН [9]. Его существование служит ключевым аргументом в пользу возможности создания физики эволюции. Как было показано, ДМН является следствием уравнения движения тела, учитывающего его структуру. Главным достоинством полученного уравнения движения СТ, а также его отличительной особенностью от уравнения движения Ньютона для МТ, является то, что оно не исключает работу внешних сил, которая идет на изменение состояния самого тела, движущегося в неоднородном пространстве. Именно этот факт снимает противоречие между фундаментальными законами физики и эмпирическим вторым законом термодинамики. В результате открывается возможность описания процессов эволюции.

Уравнение движения структурированного тела и детерминированный механизм необратимости

Классическая механика построена на основе уравнения движения Ньютона для МТ. Это уравнение можно получить из полной энергии МТ при условии ее инвариантности [25]. Полная энергия для бесструктурной МТ состоит только из энергии движения, поэтому вся работа внешних сил идет на перемещение МТ.

Уравнение движения СТ в классической механике получают путем суммирования уравнений движения каждого элемента СТ [13]. При этом работа внешних сил по изменению внутренней энергии остается неучтеною, так как сумма внутренних сил равна нулю. Поэтому уравнение движения СТ в классической механике справедливо только тогда, когда вся работа внешних сил идет на перемещение СТ. Это верно для бесструктурных тел или при наличии однородных внешних сил. Но если действующие на СТ внешние силы

неоднородны, то может меняться не только энергия движения СТ, но и его внутренняя энергия [9, 24]. Это понятно на примере парашютиста, скорость которого со временем достигает максимального значения. В этом случае сила тяжести равна силе трения и вся работа внешних сил уходит на изменение внутренней энергии СТ. Поэтому в классической механике учет работы внешних сил по нагреву тел выполняется эмпирическим образом, путем определения коэффициента трения. Следовательно, ограничения классической механики связаны с тем, что в ней нельзя определить ту часть работы внешних сил, которая идет на изменение внутренней энергии тела. Эти ограничения исключают возможность описания эволюции, поскольку эволюция связана с работой внешних сил по изменению внутреннего состояния системы. То есть, для описания эволюции необходимо иметь уравнение, которое учитывает как работу внешних сил, изменяющую энергию движения, так и работу по изменению внутренней энергии. Обсудим, как получить такое уравнение.

Уравнение движения СТ в классической механике выводится в лабораторной системе координат. В ней радиус-вектор каждой МТ системы состоит из суммы радиус-векторов центра инерции и радиус-вектора МТ относительно центра инерции. Сила, определяющая работу по ускорению СТ, равна сумме сил, приложенных к каждой МТ. Но сумма внутренних сил равна нулю. А поскольку каждая МТ вносит вклад, как в энергию движения, так и во внутреннюю энергию СТ, то в лабораторной системе координат не удается определить работу по изменению внутренней энергии. Но ее можно определить в дуальной системе координат, заданной микро – и макропеременными. Причем микропеременные определяют движение каждой МТ относительно центра инерции, а макропеременные определяют движение центра интенции. В дуальной системе координат полная энергия имеет представление в виде суммы энергии движения СТ и его внутренней энергии. Дифференцируя полную энергию по времени, получим уравнение, которое определяет, как работу внешних сил по перемещению центра инерции, так и работу, осуществляющую ими по изменению внутренней энергии. Из этого уравнения можно найти уравнение движения СТ. В нем, в отличие от уравнения движения

МТ, в правой части появится второй член, определяющий силы, изменяющие внутреннюю энергию. Очевидно, что появление этого члена обусловлено учетом структурности тела.

Вывод уравнения движения СТ в дуальной системе координат эквивалентен тому, что мы расширяем классическую механику за счет дополнительных принципа [9]. К первому принципу относится утверждение о том, что существует два основных типа симметрии, которые диктуют динамику материальных объектов: это симметрии самого материального объекта, и симметрии пространства, в котором движутся эти объекты. Это утверждение было названо принципом дуализма симметрии. Данный принцип означает, что работа внешних сил в неоднородном пространстве обуславливает, как ускоренное движение тела, так и изменение его внутреннего состояния. Это естественно назвать дуализмом работы внешних сил.

Существует также второй принцип, который утверждает о единстве законов, определяющих эволюцию среды и движущихся в ней объектов. Этот принцип можно назвать принципом эквивалентности законов природы для его выделенных объектов и самой среды, в которой они перемещаются. Именно нелинейное взаимодействие среды и тел определяет их динамику и эволюцию. Важность этого принципа для физики эволюции заключается в том, что прямые и обратные потоки энергии, которые существуют между телом и средой, определяются общими фундаментальными законами. Причем эти законы диктуются симметриями тел и пространства, в котором они движутся.

Для физики эволюции также важен третий принцип. Он утверждает, что эволюция выделенного объекта характеризуется билинейностью связи симметрий объектов и пространства их движения. Ярким примером, подтверждающим этот принцип, является движение тел с трением по наклонной поверхности под действием гравитационных сил. Здесь силы трения определяются как характеристиками движущегося тела, так и характеристиками наклонной поверхности. При этом работа сил гравитации тратится, как на перемещение тела по поверхности, так и на нагрев, в общем случае, поверхности и самого тела. Из этого принципа однозначно следует, что характер динамики реальных тел определяется не законом сохранения энергии движения, как в

случае движения МТ, а законом сохранения полной энергии, которая состоит из энергии движения и внутренней энергии тела. То есть, для структурированных тел условие однородности времени, определяемое только законом сохранения энергии движения, как в случае классической механики, не выполняется. Отсюда также следует, что инвариантом, определяющим эволюцию тел, является полная энергия. Причем из-за взаимосвязи энергии движения и внутренней энергии, для описания эволюции тел полную энергию следует задавать суммой энергии движения и внутренней энергии.

Таким образом, невозможно определить эволюцию тел без учета взаимосвязи динамики тел и изменения их внутреннего состояния. Именно поэтому эволюцию невозможно изучать без устранения противоречий между классической механикой и термодинамикой.

Дифференцируя полную энергию по времени, представленную через независимые микро- и макропеременные в виде суммы энергии движения и внутренней энергии при условии ее инвариантности, после несложных преобразований, получим уравнение движения СТ [9, 24]:

$$M_N \dot{V}_N = -F_N^0 - \mu^d V_N, \quad (1)$$

Here $M_N = Nm$ the mass of the SB; $V_N = (\sum_{i=1}^N v_i) / N$; v_i is a velocity of MP; N is number of elements in the SB; m is mass of the elements SB which is equal one for all MP; F_i^0 is external force acting on the i -th element of the SB; $F_N^0 = \sum_{i=1}^N F_i^0$; $\mu^d = \dot{E}_N^{\text{int}} / (V_N^{\text{max}})^2$; $v_{ij} = v_i - v_j$; F_{ij} is the force of interaction of the elements of the SB; $\dot{E}_N^{\text{int}} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N v_{ij} (m \dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + N F_{ij})$; $V_N^{\text{max}} = -\dot{E}_N^{\text{int}} / F_N^0$; $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$.

Член, который лежит в левой части уравнения (1), и первый член в правой части, как и в уравнении движения Ньютона, определяют силу инерции и активную силу соответственно. Причем активная сила равна сумме сил, действующих на каждую МТ.

Но в правой части уравнения (1), в отличие от уравнения движения Ньютона для МТ, возник еще один член. Он обусловлен наличием сил диссипации, определяющих трансформацию энергии движения во внутреннюю энергию. Как оказалось, такая трансформация возможна только при наличии неоднородностей пространства, обеспечивающих градиенты внешних сил. Причем необходимо выполнение условия соизмеримости характерных масштабов неоднородностей пространства с размерами движущегося объекта. Аналогичный член существует и в статистическом уравнении движения. Этот член следует из законов статистики [15]. Он исчез в уравнении движения Ньютона в силу использования бесструктурной модели тела. Он также не учитывается в формализмах классической механики, полученных из принципа Даламбера при условии голономности связей. Очень важно, что этот член невозможно исключить никакими преобразованиями независимых переменных, поскольку он определяется существующей взаимосвязью энергии движения и внутренней энергии. В приближении однородности внешних сил или при пренебрежении структурностью тел этот член исчезает.

При определенных скоростях тела возникает равенство нулю правой части. Тогда уравнение (1) сводится к следующему равенству: $V_N^{\text{max}} = -\dot{E}_N^{\text{int}} / F_N^0$. Именно при такой скорости справедливо утверждение Аристотеля о том, что скорость пропорциональна активной силе [27]. Для малых скоростей вторым членом уравнения (1) можно пренебречь, и мы приходим к уравнению движения Ньютона.

Таким образом, уравнение (1) является обобщением уравнения движения Ньютона, поскольку оно учитывает полную работу внешних сил по перемещению тела и изменению его внутреннего состояния. Поскольку уравнение (1) учитывает изменение внутреннего состояния системы при ее движении в неоднородном пространстве, то его логично называть «уравнением эволюции».

Как и в классической механике, используя уравнение (1), не сложно получить расширенные формализмы механики, которые принимают во внимание процессы диссипации, характерные для движущихся тел в неоднородном пространстве. Эти формализмы позволяют изучать процессы эволюции.

Для определения меры работы, которая идет на изменение внутренней энергии, можно использовать параметр, который мы назвали Д-энтропией [9, 28]. Д-энтропия определяется величиной отношения увеличения внутренней энергии СТ, к полной величине внутренней энергии. Она существенно отличается от известных понятий энтропии. Это отличие, прежде всего, состоит в том, что Д-энтропия относится к движущемуся в пространстве телу. Кроме того, она полностью определяется динамическими параметрами СТ, что означает ее детерминированность. В соответствии с этими свойствами, она характеризует эволюцию любых систем, движущихся в неоднородных внешних полях сил.

Согласно расчетам зависимости Д-энтропии от количества элементов в системе, выполненных на основе уравнения (1), было получено, что если, в системе количество МТ меньше 100, то возможна трансформация внутренней энергии в энергию движения, но если частиц больше, то Д-энтропия всегда положительна, а при $N > 1000$ она выходит на асимптотику [33].

Природу необратимости можно понять, изучая на основе уравнения эволюции характер взаимной трансформации энергии движения во внутреннюю энергию с учетом того, что такая трансформация подчиняется принципу эквивалентности. Согласно этому уравнению, прямое поглощение энергии движения определяется квадратичным членом, но тогда ее обратное преобразование энергии не может быть больше члена четвертой степени малости. Отсюда характер преобразования энергии движения в энергию тепла для малых параметров определяется следующей формулой [9]:

$$H = \alpha \chi^2 - \beta \chi^4 \quad (2)$$

Если $N > 1$, то имеем $\alpha \chi^2 \gg \beta \chi^4$, что соответствует необратимости.

При условии $H = 0$ имеет место стационарность систем. Это неустойчивое стационарное состояние определяет особую точку бифуркации. Такая особенность имеет место для макроописания. Она исчезает, если от макроописания динамики СТ перейти к микроописанию. То есть, в точке бифуркации динамика тела однозначно определяется динамикой его

элементов. Поэтому микроописание позволяет снять особенность в точке бифуркации [9].

Преобразование энергии движения во внутреннюю энергию и ее обратное преобразование для взаимодействующих систем по своей природе не симметрично. Нарушение симметрии следует из того, что происходит уменьшение относительных скоростей тел в системе координат их центра инерции, которое не запрещено законами сохранения энергии и импульса. Это и определяет природу детерминированной необратимости. Нарушение симметрии времени как раз и означает, что из уравнения движения СТ следует второй закон термодинамики. Таким образом, в результате учет роли структурности тел в их движении в пространстве исчезает противоречие между классической механикой и термодинамикой. То есть, уравнение эволюции устраняет противоречия между классической механикой и термодинамикой.

Из уравнения эволюции следует, что в рамках ограничений принятой модели системы, потенциально взаимодействующих МТ, если принять условие эволюционного происхождения мира, то материя должна быть бесконечно делимой. Действительно, диссипация, без которой нет эволюции, возможна только для структурных тел. То есть, если материя произошла эволюционным путем, то она должна обладать структурностью на всех ее иерархических уровнях [29]. Таким образом, согласно законам динамики систем материя бесконечно делима и представляет собой иерархию вложенных друг в друга взаимосвязанных систем [34]. Данный вывод обусловлен принципом дуализма симметрии и вытекает из условия сохранения полной энергии. А поскольку закон сохранения энергии является общим законом для всех разделов физики, то вывод о бесконечной делимости материи справедлив для всей физики и для всех материальных объектов. То есть, структурность материи следует учитывать на всех ее иерархических уровнях. Обобщим, что дает учет бесконечной делимости материи для классической физики.

Результаты

Роль структурности материи для физики

Проблемы с описанием процессов диссипации для энергии движения систем возникли одновременно с созданием классической

механики. Формализмы классической механики строили, опираясь на уравнение Ньютона и принцип Даламбера при выполнении условий голономности связей и потенциальности коллективных сил. Поэтому они описывают динамику систем, только когда можно пренебречь диссипацией, то есть, когда динамика систем не зависит от их внутренних состояний [25]. Но эволюция обусловлена взаимосвязью динамики системы с изменениями ее внутреннего состояния. А изменениями внутренней энергии при движении тел во внешних неоднородных полях сил в классической механике пренебрегается. Таким образом, возникла необходимость поиска такой теории, которая в рамках законов классической механики позволяет учитывать изменение внутренней энергии и, тем самым, описывать диссипативные процессы. Нам удалось доказать, что для построения такой теории необходимо учесть роль структурированности тел в их динамике. Такой учет осуществляется уравнением эволюции, полученным для системы МТ, опираясь на уравнения движения Ньютона для МТ.

Как оказалось, уравнение эволюции следует из требования инвариантности полной энергии путем ее дифференцирования по времени. Для СТ полная энергия, в соответствии с принципом дуализма симметрии, совпадает с суммой энергии движения и внутренней энергии. Полученное таким образом уравнение оказалось не симметричным относительно обращения времени. Это обусловлено тем, что внутренняя энергия не зависит однозначно от заданной точки в пространстве. То есть, при движении тела сколь угодно близко к исходной точке пространства, оно уже будет обладать другой энергией движения. Из этого уравнения также следует ДМН, обусловленный квадратностью эффекта трансформации энергии движения во внутреннюю энергию и обратной трансформации внутренней энергии в энергию движения, которая может иметь место для неравновесных тел. Но это означает, что для движения достаточно больших тел во внешних неоднородных полях сил выполняется второй закон термодинамики. Найденные с помощью уравнения движения СТ закономерности поведения тел являются необходимыми для построения физики эволюции.

Важнейшим выводом, который следует из расширения классической механики, является

вывод о бесконечной делимости материи. Этот вывод затрагивает все разделы физики, поскольку они, так или иначе, сформировались при изучении различных иерархических уровней и типов материи. Более того, из этого следует, что познание мира – процесс бесконечный. К этому заключению мы также приходим в связи с бесконечным многообразием процессов эволюции материи. Эту идею разделяют и другие исследователи. [30]. То есть, всегда будет существовать область непознанного, хотя в природе не существует такого явления, которое невозможно понять.

Детерминизм эволюции не означает ненужность статистических методов анализа систем. Действительно, поскольку процесс познания истины бесконечен, то это означает, что всегда существует область непознанного, которая вносит долю неопределенности в наши знания. Это оставляет место для статистики. Более того, использование статистических методов значительно упрощает решение многих задач по обработке и анализу данных экспериментов, что важно на начальном этапе изучения общих закономерностей поведения систем [35].

Естественно, что эволюционное развитие характерно для самой физики [31]. Это развитие, как и развитие знаний о материи, идет от простого к сложному [32].

В связи с расширением классической механики возникли вопросы, связанные с необходимостью построения функций распределения для неравновесных систем, поскольку статистики Гиббса, Максвелла, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна [15,35] получены только для близких к равновесию систем, когда можно пренебречь вторым членом в правой части уравнения (1). То есть, эти статистики неприемлемы для описания процессов эволюции.

Таким образом, расширение классической механики, в результате учета взаимной трансформации энергии движения и внутренней энергии, устранило ключевые проблемы физики, связанные с объяснением механизма необратимости, обоснованием эмпирических законов термодинамики на основе фундаментальных законов физики, к доказательству предположения о бесконечной делимости материи. Все эти проблемы, стоявшие в классической механике, исключали возможность построения теории эволюции. в рамках законов физики.

Разделом физики, без которого невозможно создание эволюционной картины мира, является еще и квантовая механика. Здесь зададим вопрос: как требование бесконечной делимости материи, условие взаимосвязи внутренней энергии и энергии движения, нелинейность процессов эволюции, могут отразиться на квантовой механике.

Проблемы квантовой механики

Создание квантовой механики обеспечило небывалый прогресс в развитии физики. Она вскрыла проблемы, связанные, в основном, с детерминизмом и с принципом причинности [39-45]. Вайнберг утверждал, что до сих пор никто не смог придумать способ изменить квантовую механику таким образом, чтобы сохранить ее успехи, не приводя к логическим абсурдам [46]. Дираку принадлежит высказывание о том, что если мы собираемся возродить причинность, то нам придется заплатить за это, и сейчас мы можем лишь гадать, какая идея может быть принесена в жертву [47].

В основах квантовой механики лежит волновое уравнение Шредингера [36]:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U(r, t) \right\} \Psi \quad (3)$$

Это уравнение линейно, поэтому оно удовлетворяет принципу суперпозиции. Квадрат модуля волновой функции – $|\Psi|^2$ определяет вероятность частицы находиться в заданной области конфигурационного пространства $dV = dx dy dz$. Любая динамическая величина « f » в квантовой механике, например, энергия и импульс, определяются волновой функцией Ψ с помощью соответствующего оператора: $E \rightarrow i\hbar \partial / \partial t$ – кинетическая составляющая энергии движения, $p \rightarrow -i\hbar \nabla$ – импульс. Величины « f », характеризующие динамику частиц, определяются усреднением: $\bar{f} = \int \Psi^* f \Psi dq$.

Шредингер получил уравнение (3), опираясь на формализм Гамильтона-Якоби [13, 25, 38]. Его также можно получить из волнового уравнения: $(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}) \Psi = 0$, заменив в нем параметры, характеризующие волны, параметрами: $c \rightarrow v_f = \omega / k = \hbar \omega / p = \hbar \omega / \sqrt{2m(E - U)}$ [37].

Это означает эквивалентность свойств уравнения Шредингера и волнового уравнения. Для получения уравнения Шредингера необходимо полную энергию и импульс выразить через соответствующие им операторы: $E \rightarrow i\hbar \partial / \partial t$ $p_i \rightarrow -i\hbar \nabla_i$, где i -номера элементов системы [37].

Скобки Пуассона для координат « q » и импульсов « p » для квантовой частицы удовлетворяют соотношению неопределенности Гейзенберга: $pq - qp = -i\hbar$. Это означает невозможность одновременного определения координат и импульсов квантовой частицы. Физическая сущность принципа неопределенности следует из того, что для волнового пакета, определяемого волновой функцией, неопределенность энергии и времени следует из условия $\Delta\omega = 2\pi / \tau$. Здесь $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ – ширина участка спектра, где амплитуда фурье-гармоник значительно отличается от нуля, τ – точность времени испускания гармоники.

Как оказалось, энергия, и другие динамические параметры частиц квантуются. Природа квантования было предложена Бором [39]. Согласно его гипотезе, классическое действие для устойчивых орбит электрона в атоме равно: $\oint pdq = nh$. Стационарные орбиты электронов в атоме определяются не их скоростями, а частотой, определяемой формулой Планка: $E = \hbar\nu$.

Пытаясь решить проблему принципа причинности, Бом, опираясь на формализм Гамильтона-Якоби, построил систему уравнений для амплитуды и фазы волновой функции. Формально его предложение сводится к тому, чтобы от уравнения Шредингера для комплексной волновой функции $\Psi = R \exp(iS(x, t)) / \hbar$ перейти к уравнениям для амплитуды – $R(x, t)$ и фазы – $S(x, t)$. Идеи Бома исходят из утверждения Эйнштейна о существовании «скрытых переменных» в квантовой механике, однозначно определяющих состояние микромира. Бом утверждал, что должна существовать такая теория скрытых переменных, которая, если отбросить погрешность эксперимента, дает результаты, не противоречащие существованию причинно-следственных связей. В механике Бома эволюция конфигурационного пространства системы, определяемая функцией Ψ , детерминирована и непрерывна. В частности, когда частица

проходит двухщелевой экран, то ее состояние определяется начальным положением. При этом Бом отказался от идеи обменного взаимодействия, предполагая модель материи непрерывной. То есть в модели Бома частицы как-бы задаются сгустками поля [48]. Модель Бома согласуется с бесконечной делимостью материи, но противоречит условию неделимости квантовых частиц [37]. Согласно идеям де Броиля-Бома, можно предположить, что простейшая квантовая частица является осциллятором. Бом считал, что понятия волны и частицы сливаются на уровне атомных масштабов [48]. Тогда согласно уравнениям (3,4), роль «скрытых переменных» будут играть микропеременные.

Квантовая механика построена для бесструктурных частиц, поэтому она не включает в себя процессы эволюции. Действительно, процессы эволюции нелинейны, а уравнение Шредингера применимо для стационарных состояний и для линейных процессов.

Очевидно, что для достаточно больших энергий взаимодействия частиц условие неделимости будет нарушаться. Скорее всего,

критическая энергия взаимодействия для частиц должна определяться условием: $E = mc^2$, где m масса частицы.

Рассмотрим, каким образом структурность всех элементов материи, включая квантовые частицы, скажется в квантовой теории.

Из условия структурности частиц следует, что квантовая частица, помимо энергии движения, обладает внутренней энергией. Это значит, что оператор Гамильтона представляет собой сумму двух операторов. Один из них соответствует внутренней энергии частицы, а другой соответствует движению частицы в пространстве. Справедливость такого представления функции Гамильтона не вызывает сомнений, поскольку мы фактически записываем уравнение Шредингера в новых независимых переменных. Но это не тождественное преобразование. Оно позволяет определить связь энергии движения с внутренней энергией системы. Тогда, представив Гамильтониан системы из N частиц в виде такой суммы, из уравнения (3) получим расширенное уравнение Шредингера для квантового СТ [49]:

$$\{i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\hbar^2}{2M} \nabla_R^2 - U(\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_N, R, t) + \sum_{i=1}^N \left[\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_{\tilde{r}_i}^2 - W_{\text{int}}(\tilde{r}_i) \right] \} \psi(\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_N, R, t) = 0 \quad (4)$$

Здесь переменные обозначены так же, как и в уравнении движения СТ. R – координаты центра инерции системы, \tilde{r}_i – координаты i -той частицы относительно центра инерции системы.

Уравнение (4), подобно уравнению (1), описывает эволюцию системы. Очевидно, что решения уравнений (3) и (4) отличаются тем, что уравнение (4) описывает процесс эволюции квантовых систем. Бесконечная делимость материи должна приводить к теории поля и ее

объединению с теорией конденсированных сред [50].

При движении такой частицы в неоднородном поле внешних сил энергия движения будет переходить во внутреннюю энергию, что эквивалентно диссипации. Простейшей моделью «флюктуирующего облака» является осциллятор. Рассмотрим уравнение (4) для случая $N=2$, то есть, для осциллятора.

Для квантового осциллятора из уравнения (4) в стационарном случае получим:

$$\left\{ \frac{\hbar^2}{2M} \nabla_R^2 - U(r, R) + \frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla_r^2 - W_{\text{int}}(r) + E_R + E_r \right\} \psi(r, R) = 0 \quad (5)$$

Здесь $E = E_R + E_r$ – кинетические составляющие энергии движения осциллятора и его внутренней энергии; $M = 2m$;
 $m_1 = m_2 = m = 2\mu$; $r = \tilde{r}_1 - \tilde{r}_2$.

В уравнении (5), как и в уравнении (1) в общем случае микро и макропеременные зацепляются из-за неоднородности внешнего потенциала. Это означает, что энергия движения и внутренняя энергия квантового осциллятора,

как и для классического осциллятора, в неоднородном поле внешних сил могут трансформироваться друг в друга.

Если изменением внешнего поля на масштабах системы можно пренебречь, то есть $U(r, R) \approx U(R)$, то волновую функцию можно записать так: $\psi(r, R) = \phi(r)\phi(R)$, а уравнение (5) распадается на два уравнения:

$$\left\{ \frac{\hbar^2}{2M} \nabla_R^2 - U(R) + E_R \right\} \phi(R) = 0 \quad (5a),$$

$$\left\{ \frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla_r^2 - W_{\text{int}}(r) + E_r \right\} \phi(r) = 0 \quad (5b)$$

Решение уравнения (5a) определяется внешним полем. Если $U(R) = 0$, то получаем известное уравнение свободно движущегося в пространстве осциллятора.

Решение уравнения (5b) при условии, что $W_{\text{int}}(r) = \mu\omega^2 r^2 / 2$, является известным уравнением для колебания частицы вблизи точки равновесия [51]. Это еще раз подтверждает справедливость уравнения (4).

Может оказаться так, что $E_r = \hbar^2 k^2 / 2\mu$, $p = 2\pi\hbar / \lambda$. Если при этом $\omega^2 = \beta / m$, где $\beta = \partial^2 W_{\text{int}} / \partial r^2$, то колебание классического осциллятора соответствует волне де Броиля, для которой имеет место закон дисперсии: $\omega = \hbar k^2 / 2\mu$. Это значит, что при прохождении разреженного потока таких осцилляторов через отверстие экрана возникнет типичная для квантовых частиц дифракционная картина.

Наличие у осциллятора внутренней энергии обеспечивает ему волновые свойства динамики. Наличие энергии движения обеспечивает ему перемещение в пространстве. Поэтому его состояние определяется частотой и фазой колебания, положением центра инерции, ориентацией оси. Это эквивалентно тому, что осциллятор обладает квантово-волновым дуализмом и его динамика описывается волновой функцией.

С позиций *классической* механики бесструктурная частица не может выйти за пределы области, определяемой ее энергией движения. Но для СТ это не так. Как оказалось, для осциллятора возможен туннельный эффект, когда он проходит потенциальный барьер, который выше его энергии движения. Такой

эффект обусловлен возможностью преобразованием внутренней энергии неравновесной системы в энергию движения в неоднородном поле внешних сил [52].

Таким образом, учет бесконечной делимости материи в квантовой механике, сохраняет все ее базовые положения, но при этом он усиливает позиции детерминизма, придавая квантово-волновому дуализму простой физический смысл.

Очевидно, что дальнейшее развитие идей, связанных с бесконечной делимостью материи, потребует решить много проблем. Среди них важнейший вопрос состоит в том, как материя связана с полем в пределе бесконечной делимости объектов природы. То есть, как материя возникает из поля. Не менее важные вопросы возникнут о природе иерархии открытых неравновесных динамических систем, об их стационарности, о природе сил. Безусловно, рассмотрение этих и других вопросов потребует больших усилий. Но без их решения вряд ли возможно построение самосогласованной эволюционной картины мира.

Выводы

- Учет роли структурности тел в их динамике расширяет классическую механику так, что при этом устраняется ее противоречие с термодинамикой, статистической физикой и кинетикой.

- Расширение классической механики описывается на уравнение движения СТ. Оно учитывает дуализм работы внешних сил, согласно которому их работа меняет энергию движения и внутреннюю энергию. Это обуславливает возможность обоснования второго закона термодинамики в рамках классической механики.

- Уравнение движения СТ описывает необратимую трансформацию энергии движения во внутреннюю энергию. Мерой трансформации является Д-энтропия. Она определяется отношением приращения внутренней энергии к ее величине.

- Из условия эволюционного происхождения объектов материи, следует бесконечная делимость материи. То есть, все объекты природы должны представлять собой иерархию вложенных друг в друга ОНДС.

- Учет бесконечной делимости материи приводит к модификации классической

механики, что позволяет строить термодинамику в рамках расширенной классической механики.

• Учет структурности материи позволяет дать физическую интерпретацию квантово-волнового дуализма.

Литература

1. Гинзбург И. Ф. (2009) Нерешённые проблемы фундаментальной физики //УФН. 179: 525-529
2. Álvaro Perales-Eceiza, Toby Cubitt, Mile Gu, David Pérez-García, Michael M. Wolf (2024) Undecidability in Physics: a Review. arXiv:2410.16532v1 [math-ph] 21 Oct
3. Prigogine I. (1990) Understanding the complex. Moscow: World. 342 p
4. Заславский Г.М. (1984) Стохастичность динамических систем. Москва: Наука. 273с
5. Lebowitz J. L. (1993) Macroscopic laws, microscopic dynamics, time's arrow and Boltzmann's entropy// Physica A. 194: 1-27
6. Chakraborti S., Dhar A., Goldstein S., Kundu A., Lebowitz J. (2022) Entropy growth during free expansion of an ideal gas // Physica A 55, 394002
7. Darwin C. (1859) On the origin of species by natural selection (John Murray, London)
8. Wichler G., Darwin C. (1961) The founder of the theory of evolution and natural selection //New York: Pergamon Press: 228
9. Сомсиков В.М. (2021) Основы физики эволюции// Казахстан: КазНУ. 335 с
10. Gibson C. H., Schild R. E. (2008) Evolution of proto-galaxy-clusters to their present form: theory and observation.//Journal of Cosmology
11. Вайнберг С. (2008) Мечты об окончательной теории// Москва: ЛКИ. ISBN 978-5-382-00590-4
12. Thomsen K. (2024) A heuristic sketch how it could fit all together with time. <https://arxiv.org/pdf/2405.10335>
13. Голдстейн Г. (1975) Классическая механика// Москва: Наука
14. Сомсиков В.М. (2013) Об ограничениях классической механики, связанных с условием голономности связей// Известия НАН РК Серия физическая. 5 (291):144-150
15. Landau L.D., Lifshits E.M. (1976) Statistical physics// Moscow: Nauka
16. Anderson P. W. (2006) More is different sci// New series 177, 4047: 393-396
17. Graiwin S., Bertin E., Lemoy R., Jensen P. (2009) Competition between collective and individual dynamics. arXiv:092167v1 [physics.soc-ph]
18. Penrose O. (2009) Reversibility and irreversibility
19. Buchholz D. Fredenhagen K. (2023) Arrow of time and quantum physics. Dedicated to Roberto Longo on the occasion of his 70th birthday. arXiv:2305.11709v1 [math-ph]
20. Roberts B. W. (2022) Reversing the arrow of time. Cambridge University press: www.cambridge.org/9781009123327. DOI: 10.1017/9781009122139.;
21. Bertulio de Lima Bernardo. (2017) Unveiling the arrow of time from Newton's laws: a possible Loschmidt's paradox solution. <http://arxiv.org/abs/1712.01377v1>;
22. Carvalho D. (2012) Irreversibility in Classical Mechanics and the Arrow of Time PX000 // Foundations of Physics :1-2;
23. Hooft G. (2017) Free Will in the Theory of Everything arXiv:1709.02874v1[quant-ph]
24. Somsikov V.M. (2016) Transition from the mechanics of material points to the mechanics of structured particles // Modern Physics Letter B. Issue 4. DOI: 10.1142/S0217984916500184
25. Lanczos C. (1962) The variational principles of mechanics. Moscow: Mir
26. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. (1988) Теория поля. Москва: Наука
27. Asmus V. F. (1976) Ancient Philosophy. Moscow: VSH Press
28. Somsikov V.M. (2022) D-Entropy in Classical Mechanics. In: Skiadas, C.H., Dimotikalis, Y. (eds). 2021. Springer Proceedings in Complexity
29. Somsikov V.M. (2024) The Role of the Structure of Matter in its Dynamics & Evolution // Japan J Res V.5 I: 1-10
30. Popper K. R. (1959) The Logic of Scientific Discovery. Oxford: Oxford University
31. Эйнштейн А. (2001) Эволюция физики. Сборник. Москва: Устойчивый мир
32. Peebles P. J. E. (2024) The physicist's philosophy of physics. arXiv:2401.16506v1 [physical.hist-ph]
33. Somsikov V.M., Андреев А.Б. (2015) О критериях перехода к термодинамическому описанию динамики систем // Известия ВУЗов. Серия Физика. N. 7 6: 1-15
34. Somsikov V.M. (2007) Описание неравновесных систем в рамках законов классической механики // ПЭОС., Вып. 9, т.2: 5-16
35. Rumer Yu. B., Ryvkin M. Sh. (1977) Thermodynamics. Stat. Physics and Kinematics. Москва: Наука
36. Schrodinger A. (1926) An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules // Phys. Rev. V28. No 6: 1049-1070
37. Зелевинский В.Г. (1970) Конспекты лекций по квантовой механике. Часть 1. НГУ, Новосибирск
38. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. (1973) Механика. Москва: Наука
39. Bohr N. (1949) Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics. The library of living philosophers. A. Einstein: Philosopher. Scientist
40. Oldofredi A. (2024) Unexpected Quantum Indeterminacy. arXiv:2403. 06584physics.hist-ph

41. Суворов С.Г. (1957) Проблема «физической реальности» в Копенгагенской школе // УФН. Том LXII. Выпуск 2: 141-158
42. Mariani C. (2024) The Determinacy Problem in Quantum Mechanics // Foundations of Physics 54:73 <https://doi.org/10.1007/s10701-024-00808-z> reserch. 2024;
43. Arroyo R., Rafael J., Arenhart B., de Ronde Raimundo C., Moujan F. (2024) // Quantum mechanics and reality. *Theoria*, 39(2) : 137-142 <https://doi.org/10.1387/theoria.26755>;
44. Rahman A. (2024) Towards a Deterministic Interpretation of Quantum Mechanics: Insights from Dynamical Systems. arXiv:2405.00707v1 [quant-ph];
45. Hooft G. (2018) Time, the arrow of time, and Quantum Mechanics. arXiv:1804.01383v1 [quant-ph]
46. Weinberg S. (1992) Dreams of a Final Theory. New York: Pantheon
47. Дирак П.А. (1983) Пути физики. Москва: Энергоиздат
48. Belinsky A. V. (2019) On David Bohm's "pilot-wave" concept // *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*. 189:1352–1363
49. Somsikov V.M. (2017) Extension of the Schrodinger equation. EPJ Web of Conferences 138 07003 Baldin ISHEPP XXIII, DOI: 10.1051/epjconf/201713807003:1-7;
50. Samarin A. Yu. (2017) Can quantum objects be point-like particles? arXiv:1710.10154v1 [physics.gen-ph]
51. Левич В.Г., (1969) Курс теоретической физики. Т.1. М., Физматгиз
52. Сомсиков В.М., Денисеня М.И. (2013) Особенности прохождения осциллятора через потенциальный барьер // Известия ВУЗов. Серия Физика. Н. 3, Март: 95–103

References

1. Ginzburg I. F. (2009) Unresolved Problems of Fundamental Physics //UFN. 179: 525-529 (in Russian)
2. Álvaro Perales-Eceiza, Toby Cubitt, Mile Gu, David Pérez-García, Michael M. Wolf (2024) Undecidability in Physics: a Review. arXiv:2410.16532v1 [math-ph] 21 Oct
3. Prigogine I. (1990) Understanding the complex. Moscow: World. 342 p
4. Zaslavsky, G.M. (1984) Stochasticity of Dynamical Systems. Moscow: Nauka. 273 pages (in Russian)
5. Lebowitz J. L. (1993) Macroscopic laws, microscopic dynamics, time's arrow and Boltzmann's entropy// *Physica A*. 194: 1-27
6. Chakraborti S., Dhar A., Goldstein S., Kundu A., Lebowitz J. (2022) Entropy growth during free expansion of an ideal gas // *Physica A* 55, 394002
7. Darwin C. (1859) On the origin of species by natural selection (John Murray, London)
8. Wichler G., Darwin C. (1961) The founder of the theory of evolution and natural selection //New York: Pergamon Press: 228
9. Somsikov V.M. (2021) Fundamentals of the Physics of Evolution // Kazakhstan: KazNU. 335 p. (in Russian)
10. Gibson C. H., Schild R. E. (2008) Evolution of proto-galaxy-clusters to their present form: theory and observation.//*Journal of Cosmology*
11. Weinberg S. (2008) Dreams of a Final Theory // Moscow: LKI. ISBN 978-5-382-00590-4 (in Russian)
12. Thomsen K. (2024) A heuristic sketch how it could fit all together with time. <https://arxiv.org/pdf/2405.10335>
13. Goldstein G. (1975) Classical Mechanics // Moscow: Nauka (in Russian)
14. Somsikov V.M. (2013) On the limitations of classical mechanics related to the holonomic constraints // Reports of the NAS RK, Physical Series. 5 (291):144-150 (in Russian)
15. Landau L.D., Lifshits E.M. (1976) Statistical physics// Moscow: Nauka
16. Anderson P. W. (2006) More is different sci// New series 177, 4047: 393-396
17. Graiwin S., Bertin E., Lemoy R., Jensen P. (2009) Competition between collective and individual dynamics. arXiv:092167v1 [physics.soc-ph]
18. Penrose O. (2009) Reversibility and irreversibility
19. Buchholz D. Fredenhagen K. (2023) Arrow of time and quantum physics. Dedicated to Roberto Longo on the occasion of his 70th birthday. arXiv:2305.11709v1 [math-ph]
20. Roberts B. W. (2022) Reversing the arrow of time. Cambridge University press: www.cambridge.org/9781009123327. DOI: 10.1017/9781009122139.;
21. Bert'ulio de Lima Bernardo. (2017) Unveiling the arrow of time from Newton's laws: a possible Loschmidt's paradox solution. <http://arxiv.org/abs/1712.01377v1>;
22. Carvalho D. (2012) Irreversibility in Classical Mechanics and the Arrow of Time PX000 // Foundations of Physics :1-2;
23. Hooft G. (2017) Free Will in the Theory of Everything arXiv:1709.02874v1[quant-ph]
24. Somsikov V.M. (2016) Transition from the mechanics of material points to the mechanics of structured particles // *Modern Physics Letter B*. Issue 4. DOI: 10.1142/S0217984916500184
25. Lanczos C. (1962) The variational principles of mechanics. Moscow: Mir
26. Landau L.D., Lifshitz E.M. (1988) Field Theory. Moscow: Nauka (in Russian)
27. Asmus V. F. (1976) Ancient Philosophy. Moscow: VSH Press
28. Somsikov V.M. (2022) D-Entropy in Classical Mechanics. In: Skiadas, C.H., Dimotikalis, Y. (eds). 2021. Springer Proceedings in Complexity
29. . Somsikov V.M. (2024) The Role of the Structure of Matter in its Dynamics & Evolution // *Japan J Res* V.5 I: 1-10
30. Popper K. R. (1959) The Logic of Scientific Discovery. Oxford: Oxford University
31. Einstein A. (2001) The Evolution of Physics. Collection. Moscow: Stable World (in Russian)

32. Peebles P. J. E. (2024) The physicist's philosophy of physics. arXiv:2401.16506v1 [physical.hist-ph]
33. Somsikov V.M., Andreev A.B. (2015) On the criteria for the transition to a thermodynamic description of system dynamics // Bulletin of Universities. Physics Series. No. 76: 1-15 (in Russian)
34. Somsikov V.M. (2007) Description of Nonequilibrium Systems within the Framework of the Laws of Classical Mechanics // PEOS, Issue 9, Vol. 2: 5-16 (in Russian)
35. Rumer Yu. B., Ryvkin M. Sh. (1977) Thermodynamics. Stat. Physics and Kinematics. Москва: Наука
36. Schrodinger A. (1926) An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules // Phys. Rev. V28. No 6: 1049-1070
37. Zhelevinsky V.G. (1970) Lecture Notes on Quantum Mechanics. Part 1. NSU, Novosibirsk (in Russian)
38. Landau L.D., Lifshitz E.M. (1973) Mechanics. Moscow: Nauka (in Russian)
39. Bohr N. (1949) Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics. The library of living philosophers. A. Einstein: Philosopher. Scientist
40. Oldofredi A. (2024) Unexpected Quantum Indeterminacy. arXiv:2403.06584physics.hist-ph
41. Suvorov S.G. (1957) The Problem of 'Physical Reality' in the Copenhagen School // UFN. Vol. LXII. Issue 2: 141-158 (in Russian)
42. Mariani C. (2024) The Determinacy Problem in Quantum Mechanics // Foundations of Physics 54:73 <https://doi.org/10.1007/s10701-024-00808-z> reserch. 2024;
43. Arroyo R., Rafael J., Arenhart B., de Ronde Raimundo C., Moujan F. (2024) // Quantum mechanics and reality. Theoria, 39(2) : 137-142 <https://doi.org/10.1387/theoria.26755>;
44. Rahman A. (2024) Towards a Deterministic Interpretation of Quantum Mechanics: Insights from Dynamical Systems. arXiv:2405.00707v1 [quant-ph];
53. Hooft G. (2018) Time, the arrow of time, and Quantum Mechanics. arXiv:1804.01383v1 [quant-ph]
54. Weinberg S. (1992) Dreams of a Final Theory. New York: Pantheon
55. Dirac P.A. (1983) The Ways of Physics. Moscow: Energoizdat (in Russian)
56. Belinsky A. V. (2019) On David Bohm's "pilot-wave" concept // Uspekhi Fizicheskikh Nauk. 189:1352–1363
57. Somsikov V.M. (2017) Extension of the Schrodinger equation. EPJ Web of Conferences 138 07003 Baldin ISHEPP XXIII, DOI: 10.1051/epjconf/201713807003:1-7;
58. Samarin A. Yu. (2017) Can quantum objects be point-like particles? arXiv:1710.10154v1 [physics.gen-ph]
59. Levich V.G., (1969) Course of Theoretical Physics. Vol. 1. Moscow, Fizmatgiz (in Russian)
60. Somsikov V.M., Denisenya M.I. (2013) Features of an oscillator passing through a potential barrier // News of Universities. Physics Series. No. 3, March: 95–103 (in Russian)

Сведения об авторе:

Сомсиков Вячеслав Михайлович (корреспондент-автор) – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института экспериментальной и теоретической физики, КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: vmsoms@rambler.ru).

Information about authors:

Vyacheslav Mikhailovich Somsikov (corresponding author) – doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Institute of Experimental and Theoretical Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: vmsoms@rambler.ru)

Автор туралы мәлімет:

Вячеслав Михайлович Сомсиков (корреспондент-автор) – физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Эксперименттік және теориялық физика институтының бас ғылыми қызметкери (Алматы, Қазақстан, e-mail: vmsoms@rambler.ru)

Поступила на рассмотрение 15.10.2025

Принята 20.11.25

А.А. Солодовник , Б.М. Усеинов* , Е.Г. Гололобова ,
Н.П. Солодовник , С.А. Сизоненко 

Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан
*e-mail: buseinov@gmail.com

ПРОТИВОРЕЧИЕ «СУЩЕЕ – ДОЛЖНОЕ» И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

В работе рассматривается подход к преодолению проблемы самого серьёзного противоречия социальных и экономических теорий нашего времени. Впервые отмеченное в начале прошлого века, оно звучит как противоречие сущего и должно. Отмечено, что если гуманитарные исследования так или иначе анализируют сущее, то есть текущее состояние основных сфер личностных и социальных отношений, то детальное рассмотрение «должного», то есть идеализированных моделей общества, как правило, гуманитарными науками отторгается. В нашем исследовании на основании представлений о физической природе негативных тенденций развития социума показана непреодолимость рассматриваемого противоречия в силу замкнутости типичных сообществ. В качестве альтернативы предлагается перспектива целевого развития социума в духе ноосферной модели Вернадского. Реализация ноосферного мировоззрения позволяет трансформировать социум в открытую систему, что в перспективе снимает противоречие «сущее – должно». В пользу предложенной модели свидетельствует факт достижения человечеством ряда необходимых условий построения ноосферы. В качестве инструментария для последовательной корректировки «сущего» предлагается применение искусственного интеллекта. При таком подходе не только снимается исходное противоречие в пользу безболезненного сближения «сущего и должно», но и открываются новые возможности раскрытия потенциала как личности, так и социума.

Ключевые слова: противоречие сущее-должное, модели социума, негативные тенденции, ноосфера, критерии открытости системы, искусственный интеллект, применение, ограничения.

A.A. Solodovnik, B.M. Useinov*, Y.G. Gololobova,
N.P. Solodovnik, S.A. Sizonenko

North Kazakhstan university named after M. Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan
*e-mail: buseinov@gmail.com

The contradiction between what is and what should be and artificial intelligence as a tool for overcoming it in socio-economic models

The paper examines an approach to overcoming one of the most serious contradictions in modern social and economic theories. First noted at the beginning of the last century, it is known as the contradiction between what is and what ought to be. It is noted that while humanitarian research in one way or another analyzes the existing – that is, the current state of key personal and social relations – detailed consideration of the ideal, or normative models of society, is generally rejected by the humanities. In our study, based on the understanding of the physical nature of negative trends in social development, we show the inevitability of this contradiction due to the closed nature of typical communities. As an alternative, we propose the prospect of purposeful social development in the spirit of Vernadsky's noospheric model. The implementation of a noospheric worldview makes it possible to transform society into an open system, which potentially resolves the "what is – what ought to be" contradiction. Supporting evidence for the proposed model lies in the fact that humanity has already achieved several necessary conditions for the formation of the noosphere. As a tool for the consistent adjustment of the "existing," the application of artificial intelligence is proposed. This approach not only resolves the initial contradiction by facilitating a smooth convergence of "what is" and "what ought to be," but also opens up new opportunities for realizing the potential of both individuals and society as a whole.

Keywords: contradiction between what is and what should be, models of society, negative tendencies, noosphere, criteria of system openness, artificial intelligence, application, limitations.

А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов*, Е.Г. Гололобова,

Н.П. Солодовник, С.А. Сизоненко

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан

*e-mail: buseinov@gmail.com

Жасанды интеллект әлеуметтік-экономикалық модельдердегі оны жену құралы ретінде не бар және не болуы керек арасындағы қайшылық

Бұл жұмыста қазіргі заманғы әлеуметтік және экономикалық теориялардың ең күрделі қайшылығының бірі – «бар» мен «булуға тиістінің» арасындағы қайшылықтың еңсеру тәсілі қарастырылады. XX ғасырдың басында алғаш рет аталған бұл мәселе «бар нәрсе мен болуға тиіс нәрсенің» арасындағы қарама-қайшылық, ретінде сипатталады. Егер гуманитарлық зерттеулер көбіне «барды», яғни жеке және қоғамдық қатынастардың ағымдағы құйін талдаса, онда «булуға тиіс» – қоғамның идеалдандырылған үлгілерін егжей-тегжейлі қарастыру гуманитарлық ғылымдарда әдetteт қабылданбайды.

Біздің зерттеуімізде қоғам дамуының теріс үрдістерінің физикалық, табигаты туралы түсініктер негізінде қарастырылып отырған қайшылықтың қоғамдардың түйіктылығына байланысты еңсерілмейтіндігі көрсетіледі. Альтернатива ретінде Вернадскийдің ноосфералық моделі рухындағы қоғамның мақсатты дамуының болашағы ұсынылады. Ноосфералық дүниетанымды іске асыру қоғамды ашық жүйеге айналдыруға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде «бар – болуға тиіс» қайшылығын жояды. Ұсынылған модельдің өміршешілдігін адамзаттың ноосфераны құрудың бір-қатар қажетті шарттарына қол жеткізгендігі дәлелдейді.

«Барды» жүйелі түрде түзетудің құралы ретінде жасанды интеллектіні пайдалану ұсынылады. Мұндай тәсіл тек бастапқы қайшылықты женіл шешіп, «бар» мен «булуға тиіс» арасындағы үйлесімді жақындасты қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар жеке тұлға мен қоғамның әлеуетін ашудың жаңа мүмкіндіктерін де ашады.

Түйін сөздер: не бар және не болуы керек арасындағы қайшылық, қоғам модельдері, теріс тенденциялар, ноосфера, жүйенің ашықтығы критерийлері, жасанды интеллект, қолдану, шектеулер.

Введение

Изучение социально-экономических отношений и других многообразных реалий социумов в фактологическом отношении не может не опираться на статистические методы анализа. Но эти методы, в свою очередь, ограничивают сферу применения полученных выводов, поскольку исходные данные, то есть сами результаты деятельности социума во многом носят субъективный характер. Последнее, в частности, объясняется наличием действия ряда негативных тенденций развития, как личностного, так и социального характера [1]. Влияние этого фактора неизбежно влечёт появление неких «фоновых» составляющих в итогах таких исследований, которые, казалось бы, базируются на строго научной основе.

В этом отношении перспективна более глубокая методология основоположником которой был выдающийся экономист и мыслитель начала 20 века Н.Д. Кондратьев. Вклад этого выдающегося учёного в развитие экономической теории ныне общепризнан и основы его подхода к анализу экономических реалий, не только сохранены, но и успешно развиваются. К сожа-

лению, менее известен вклад Н.Д. Кондратьева в философский анализ методологии изучения глубинной сущности социально-экономических отношений. Речь идёт об учении о соотношении сущего и должного [2-4].

Кондратьев большое внимание уделял поиску философских основ своих построений, при этом особенно выделяя проблему соотношения сущего и должного. То есть онставил вопрос, должны ли мы при исследовании «социального хозяйства» рассматривать его только как реально существующее, или в рамках научно допустимого анализировать его также с точки зрения долженствования (или ожидаемого бытия). Здесь и далее под «сущим» следует понимать в максимально широком смысле не только социально-экономическую «анатомию» общества, но и анализ его духовно-интеллектуального состояния. Тогда «должное» аккумулирует в себе как высоту нравственных идеалов, воплощённую в устройстве общества, так и соображения материальной целесообразности в экономике, экологии, развитии положительных качеств человека [3].

Антиномия сущего и должного пронизывает всю историю человечества, ею исполнены,

в частности, священные тексты. Смена эпох вносит в её содержание новые мысли и толкования, находит варианты ответов, вместе с тем ставит и свои вопросы. Но никто никогда не знал, как отразится силовое воздействие на реальность, поскольку не были известны законы ее развития? Найти ответ на вопросы: к чему ведет стремление воплотить в жизнь идеальную социальную норму («должное») и стоит ли идеальную модель общественного устройства делать знаменем политической борьбы пытался Н.Д. Кондратьев.

В наше дни интерес к означенной проблеме связан с потерей ориентиров социально-экономического прогресса, девальвацией идеалов и в целом смысла жизни. Невозможно определиться с характером развития общества (прогресс или регресс), если нет точных критериев движения к заданной цели или к желаемому состоянию, к тому самому «прекрасному далеко». Можно ли в принципе судить о характере развития социума безотносительно к «должному»? И насколько научна апелляция к нему? Всё это было в поле зрения Н.Д. Кондратьева [2-4].

Однако, сами реалии экономических отношений, во многом определяющие другие аспекты бытия общества, не в полной мере отражают полноту жизни социума. Проблема соотношения «сущего – должно» в той же, а, возможно, в большей мере присуща и социальному бытию человека и общества. Поднять эту тему было несложно во время жизни Кондратьева. Целью нашего исследования является не только рассмотрение заявленной проблемы в более широком контексте, но и выработка рекомендаций если не по снятию рассматриваемого противоречия, то, хотя бы, по уменьшению его остроты.

Основы методологии исследования

К сожалению К.Д. Кондратьеву было отпущено слишком мало времени для анализа поставленной им проблемы. Тем не менее происхождение противоречия он видел в «двойственной природе человека», который «не только и не столько познает сущее, но он и действует, ставит себе практические цели, выдвигает идеалы своих стремлений» [5]. При этом, однако, предметом социально-экономических наук объявляется только сущее. Идеалы и социальные нормы Кондратьев относил к практическим понятиям, считая, что идеалы не связаны с логикой науки, следовательно, создание научно обоснованных

нравственных суждений невозможно. Однако, они могут быть предметом науки как факты социальной действительности.

Такое прямолинейно-механическое разделение сущего и должно далеко не соответствует диалектике отношения между ними. Это признавал и сам Н.Д. Кондратьев, отмечавший, что «огромная роль суждений ценности и необычная склонность к высказыванию их, как это, очевидно, вытекает из глубочайшей связи социальной экономии с практикой и интересами общественной жизни».

Тем самым закономерно определяется необходимость рассмотрения с позиций современности противоречия сущего и должно не только в экономической сфере, но и в более широкой социальной сфере. Как было нами отмечено ранее социальному развитию личности, а равно и обществу внутренне присущи негативные онтологические тенденции. Природно-материальная сущность их может быть связана с действием нескольких фундаментальных факторов, имеющих самое широкое практическое приложение в физике и в естественных науках. Среди них ранее мы выделили три [1]:

А) Принцип энергетического минимума;

Б) Принцип Гамильтона;

В) Закон возрастания энтропии для замкнутых систем.

Мы полагаем, что, базируясь на их применении к изучению общественных явлений, можно избавиться и от мистического подхода при рассмотрении природы рассматриваемого противоречия, то есть не связывать её более с предположением о двойственной природе человека, а, следовательно, и человеческих сообществ. В частности, как было отмечено ранее первый фактор влияет как на интеллектуально-духовный потенциал как личности, так и социума, минимизируя его. Негативные последствия (деградация) для «сущего» при этом очевидны [1, 6 – 9].

Принцип наименьшего действия Гамильтона как фактор влияния, в свою очередь, в предельном своём выражении определяет, как можно выразиться, степень аморальности общества и человека, порождая то, что в содержании «сущего» у нравственного здорового человека способно вызвать негодование и отвращение. Как нами уже отмечено этот фактор в сильной степени повлиял на состояние политической жизни и культуры, казалось бы, благополучных в прошлом стран [1, 7 – 10].

Что касается социоэнтропии, то этот фактор, без преувеличения можно назвать главенствующим по степени своего негативного влияния на развитие социумом, то есть на «сущее», в выделенной триаде факторов. Это с очевидностью следует из определения энтропии как меры хаоса в рассматриваемой системе и, соответственно, как критерия снижения положительно мотивированной управляемости ею. Личностная энтропийность проявляется в стяжательстве, гедонизме, властолюбии, лени. Социальную энтропийность ярко иллюстрируют бюрократия и её детище – коррупция, намеренная девальвация культуры, разрушение нравственных основ личности человека и общественного сознания [1, 11 – 13].

Таким образом, очевидно, что стихийная эволюция социума может только усугублять противоречие «сущего-должного» в пределе устремляясь к уничтожению «сущего», то есть самого объекта. В данном случае под стихийной эволюцией следует понимать такой сценарий развития общества, который не контролируется изначально разумно заданными критериями.

Логично задаться вопросом – существуют ли пути преодоления рассматриваемого противоречия или, хотя бы, снижения его остроты. Вполне очевидно полагать, что в своём глубинном смысле вся история человечества иллюстрирует попытки решения этого вопроса. Важнейшими из них являются в исторической последовательности религиозные системы, а затем уже (и частично на их основе) философско-этические учения.

Исторический опыт свидетельствует, о положительном потенциале религиозных учений в снятии остроты противоречия «сущее-должное» в обществе. Особенной высотой он отличается у авраамических религий. Так в теократических государствах прошлого (Древних Царств Египта и Израильских Царств) и настоящего (Саудовская Аравия, Иран, Ватикан) отношения сущего и должно в определённой мере гармонизированы. И не удивительно, поскольку ещё Геродот отмечал, что теократия, имеет целью следование мировому порядку для установления в обществе гармонии. Аналогично и этико-философское учение конфуцианства во многом определило социальную устойчивость и перспективы прогресса стран Дальнего Востока (Китай, Корея, Япония). Здесь оно стало основой мировоззрения, общественной этики, а ещё и идеологии, народного самосознания и образа жизни.

В светских государствах Европы, Азии и Америки, несмотря на декларируемую порой приверженность традиционным основам бытия, положительное влияние религиозных учений в наше время сведено к минимуму. И это влияние продолжает снижаться. Этот тренд обусловлен провозглашением авторитета личных свобод (включая антиобщественные амбиции и порочные наклонности). В свете изложенной выше точки зрения о решающем влиянии социо-физического негативизма на неуправляемое развитие личности или общества, такое положение неизбежно ведёт к деградации качеств как личности, так и общества в целом. При эволюции по нисходящей траектории противоречие «сущее-должное» неизбежно может только обостряться.

В ходе исторического экскурса в недавнее прошлое можно найти иллюстрации того, когда сознательными усилиями властей вполне светских государств это противоречие, напротив того, заметно сглаживалось. Ярким примером такого рода был Советский Союз, где на основе, пусть и не вполне совершенной идеологии (кстати, близкой к христианству) сформировалось достаточно гармонизированное общество, отмеченное небывалыми историческими достижениями интеллектуального, духовного, культурного характера. Крушение его было обусловлено вовсе не недовольством населения (такое мнение навязывают неолибералы), а интеллектуальной, этической и волевой несостоительностью правящих кругов. Последний тезис со всей очевидностью доказывает пример Китая, где политico-социальные идеологемы марксизма не только мирно срослись с этикой конфуцианства, но вывели страну на самые передовые позиции в мире. И воля политических лидеров здесь сыграла едва ли не определяющую роль.

Подводя итоги раздела, мы можем резюмировать, что если не устранение, то хотя бы сглаживание противоречия «сущее-должное» не только в экономике, но и в других сферах человеческой деятельности возможно при наличии в социуме следующих основ:

1. Положительной конструктивной идеологии, содержащей достижения этических и интеллектуальных учений прошлых эпох. Идеологии, адаптированной не только под решения частных проблем современности, но нацеленной на самую дальнюю перспективу развития человечества.

2. Сообщества личностей, обладающих качествами, способствующими реализации целей новой идеологии.

3. Элемента критериального анализа (не зависимого от исполнителей), способного к оценке и отбору оптимальных путей и методов решения как общих, так и частных задач общественного развития.

Интеллектуальная основа разрешения противоречия «сущее-должное»

При рассмотрении путей решения рассматриваемой проблемы необходимо ещё раз отметить, что она выходит далеко за рамки экономики или социологии. Противоречие «сущее-должное» с особенной яркостью проявилось, например, в экологических проблемах, включая и винущие ужас климатические изменения. То есть ныне оно проявляется себя буквально во всех ипостасях бытия цивилизации и, без преуменьшения, ставит на повестку дня вопрос её выживания.

Разумеется, эффективно справиться с сонмом проблем можно только на основе мировоззрения имеющего целостный характер и опирающегося на критерии не только (и не столько) Прав Человека, но на Обязанности каждого Человека и Человечества в целом. При этом для выработки абсолютно новой стратегии решения глобальных проблем необходимо объединение усилий представителей науки, религии, культуры, политики и деловых кругов практических всех стран мира.

Единственной мировоззренческой системой, обладающей требуемыми качествами к настоящему моменту является учение о Ноосфере, базирующееся на идеях В.И. Вернадского [14, 15]. История создания учения Вернадского подробно рассмотрена в ряде статей, поэтому мы не видим необходимости останавливаться на ней [16]. Гораздо важнее на наш взгляд указать на то, что идея о ноосфере до настоящего момента нет внятной альтернативы. То есть не существует иного научно-философского учения, имеющего подобные или хотя бы сопоставимые масштабы. В своей работе мы ограничимся только определением понятия Ноосфера и указанием на необходимые признаки (или условия) её построения.

Итак, под Ноосферой подразумевается новая, высшая стадия эволюции биосфера, такая общепланетарная (включающая по мере развития и космос) сфера взаимодействия человеческого общества и природы, в границах которой

разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития. В нашем определении выделен признак разумности человеческой деятельности, поскольку деятельность цивилизации вообще давно уже стала важнейшим планетарным фактором, к сожалению, в большинстве случаев стихийно-негативным.

Определение, конечно же не может содержать полноты смысловой нагрузки рассматриваемой системы мировоззрения. В большей степени это прослеживается в признаках построения ноосферы. Поэтому их полное перечисление необходимо. В данном случае естественным будет обратиться к глубокому исследованию Ф.Т.Яншиной, которая выявила в трудах Вернадского, совокупность положений, характеризующих условия ноосферной организации социальных процессов на Земле [17],

1. Заселение человеком всей планеты.

2. Резкое преобразование средств связи и обмена информацией.

3. Усиление связей, в том числе политических, между странами Земли.

4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере.

5. Расширение границ биосфера и выход в космос.

6. Открытие новых источников энергии.

7. Равенство людей всех рас и религий.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики.

9. Свобода научной мысли и научного поиска от давления религиозных, философских и политических построений.

10. Эффективная система народного образования и жизнеобеспечения. Ликвидация возможности недоедания, голода и нищеты, сведение к минимуму болезней.

11. Разумное преобразование природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения.

12. Исключение войн из жизни общества.

Нельзя не отметить что как количество пунктов, так их формулировки могут отличаться у разных исследователей. Так вместо усиления политических связей между государствами возможно более весомое предложение о формировании единого планетарного сообщества людей. Вместо расплывчатой формулировки об увеличении роли народных масс в политике, иногда прямо звучит апелляция к построению социа-

лизма. Как бы то ни было, но в свете этих признаков идея Ноосферы выглядит грандиозной и на редкость привлекательной, сравнительно с тревожными реалиями современности [18-20].

Вполне естественно задаться вопросом, какие из признаков Ноосферы реализованы, какие близки к реализации, а какие далеки от воплощения. Наиболее оптимистичные ученые утверждают, что фактически реализованы первые шесть условий, а остальные весьма далеки от практического воплощения [21, 22]. Однако, мы полагаем, что пока преждевременно говорить о заселении человеком всей планеты при наличии пустынь, Арктики и, наконец, океана. Точно также обстоит дело с третьим пунктом. Наличие экономических связей между государствами, к сожалению, до сих пор не отменяет политического антагонизма или стремления к доминированию любой ценой, чреватых войнами. Выход в космос, пока что выглядит более чем скромно, без создания в околосземном пространстве промышленной и энергетической систем, без закрепления присутствия человека на других небесных телах. Да и открытие новых источников энергии без термоядерных реакторов представляется незавершенным моментом в технологическом развитии социума.

Реализацию условий с 7 по 12 пункт невозможно представить себе итогом естественного течения исторического процесса. Масштабность их потребует не менее чем, титанических усилий креативной части социума, намного превосходящих по размаху интеллектуальной и организационной деятельности все революции прошлых эпох [23]. И при всём том учение Вернадского никак нельзя назвать политизированным, поскольку одним из моментов его воплощения в «сущее» должно стать устранение политики в современном её понимании из практической деятельности цивилизации. Таким образом во главу угла нашего исследования ставится вопрос: как достичь воплощения этих условий?

Искусственный интеллект и противоречие сущее – должно

Противники учения Вернадского (сознательные или просто научно несостоятельные) пытаются отнести его к иллюзорным фантазиям. В частности, они на основании так называемого жизненного опыта полагают, что негативизм человеческой природы разрушит все благие усилия любых просветителей. Бессспорно, проблем на пути создания социума нового типа более

чем достаточно. Но при этом имеются примеры креативной самоорганизации не только микросоциумов (типа семьи или трудовых коллективов), но даже и целых государств. Флагманом положительного развития цивилизационного процесса в данный исторический период является Китайская Народная Республика. С учётом полуторамиллиардного населения страны этот пример обладает огромным потенциалом убедительности в возможности решения крупнейших социально-экономических, научных и культурно-просветительских задач. Оспорить этот аргумент просто невозможно, хотя можно попытаться его не замечать, что свойственно противникам идеи прогресса человечества.

В рамках нашей работы мы имеем цель проанализировать современные возможности стимулировать те социальные тенденции, которые отвечают духу учения о ноосфере. Основным инструментом такого стимулирования, по нашему мнению, может стать искусственный интеллект (ИИ в дальнейшем) [24]. Заметим, что действие ИИ вовсе не обязательно должно быть прямым. Вполне резонно с его помощью только подавлять негативные проявления личности или социальных групп. Причём это реально достижимо и в рамках существующих политических систем, признающих ключевые признаки общественной справедливости.

В частности, реализацию условия «равенства всех рас и религий» невозможно представить без максимального изъятия из общественного сознания всех форм расизма, национализма, ксенофобии. В настоящее время в явной или зашифрованной форме они существуют в информационном поле. В перспективе с использованием ИИ соответствующий контент может быть мгновенно удаляем из интернета, причём невзирая на любые способы мимикрии. И, напротив, ИИ способен оказывать важнейшее содействие формированию планетарного человеческого единства при сохранении позитивных основ национальных самосознания и культур.

Аналогично применение ИИ позволит свести к минимуму негативное влияние стяжательства как на формирование отдельной личности, так и на экономику в целом (пункты 8 и 10). Например, с его помощью свести к минимуму и даже исключить влияние субъективности и произвола из политики товарного ценообразования, формирования цен на услуги, строительных смет и множества других экономических действий. Их реализация будет отслеживаться в информаци-

онном поле, и при выявлении явных нарушений противоправные акты будут аннулироваться. Нетрудно представить себе, что ИИ способен стать мощным средством объективного контроля социальных действий и, таким образом, способствовать искоренению коррупции [25, 26].

Реализация пункта 11, требующего разумности в преобразовании природы, также приобретёт совершенно новый характер с применением ИИ. Все мы отдаём себе отчёт в том, что экологические соображения к настоящему времени, к сожалению, так и не стали руководящими принципами в экономике. Сплошь и рядом ими жертвуют в угоду ненасытной алчности нечистоплотных предпринимателей. Особенно трагично обстоят дела с вырубкой лесов на планете, с загрязнением океана и атмосферы. Если субъективное управление человеком не справляется с решением экологических проблем, то не проще ли передать контроль над ними ИИ? Современные технологии приблизились к практическому освоению термоядерной энергетики. Нетрудно представить себе накал политической борьбы за «место под Солнцем» между производителями углеводородов и поставщиками чистой энергии. В решении её исхода в пользу прогресса всего человечества ИИ также будет принадлежать весомое значение.

Эти простые примеры нацелены на демонстрацию самой возможности последовательного снижения остроты противоречия сущего и должно, а далее на новой основе построения подлинно справедливого общества. Стремление избежать субъективности и негативизма человеческих действий возможно реализовать на основе применения ИИ, призванного заменить изношенные политические и экономические рычаги. Вполне реально представить себе, что регламентирующими деятельности ИИ посыпами могли бы стать те самые условия построения ноосфера, которые предложил В.И. Вернадский.

Благоприятные условия для воплощения сценария внедрения ИИ в практику действий человечества складываются в настоящее время благодаря снижению влияния неолиберализма, как в политической, так и в экономической областях. И всё же не исключено и негативное развитие ситуации. Не исключены попытки использования ИИ либо в узких интересах неких политических кругов или даже для хаотизации мировой экономической системы и международной политики. С учётом этого вполне вероятна острая конкуренция в сфере различных реализаций

ций ИИ – их общей эффективной действенности. Здесь определяющую роль для судьбы цивилизации будет играть поддержка мировой интеллектуальной элиты только той формы ИИ, которая нацелена на общий прогресс человечества. Отличительные признаки «правильного» ИИ связаны с характером государственного устройства его создателей, то есть наличия с их стороны сознательной поддержки идеи ноосферы.

Выводы

Методология социально-экономического исследования, базирующаяся на признании противоречия «сущее-должное» впервые обозначенного в работах Н.Я. Кондратьева в настоящее время приобретает особенно актуальное значение. С одной стороны, мы имеем системный кризис в международных отношениях. А с другой идеи Кондратьева получают новое звучание в контексте различия природы открытых и закрытых систем различного типа. В частности, для личности и социумов, обладающих признаками закрытости, доминирующее влияние на их развитие оказывают негативные тенденции. Последние, как указывалось авторами имеют природу, вполне объяснимую при апелляции к базовым физическим принципам. Такие негативные тенденции, проявляющиеся на личностном и социальном уровнях, и создают, и поддерживают отмеченное Н.Я. Кондратьевым противоречие, существующее на протяжении всего исторического процесса.

В этой связи перспективы развития цивилизации видятся в создании социумов открытого типа. При этом их устойчивое развитие, как показано в работах В.И. Вернадского возможно при глобальном доминировании позитивного мировоззрения, нацеленного на создание Ноосферы – планетарно-космической цивилизации. Однако, условия превращения нашей цивилизации в ноосферную (социум открытого типа) требует выполнения комплекса весьма сложных духовно-интеллектуальных, политических, экономических и культурологических условий. Пока что можно говорить лишь о частичном воплощении примерно их половины. Но и это уже есть основание для осторожного оптимизма о перспективности предложенного Вернадским пути.

Мы полагаем, что действенную поддержку ноосферному развитию человечества способно дать применение искусственного интеллекта,

который способен преодолеть как негативизм человеческих действий, так и, казалось бы, безобидный субъективизм. Но важнее всего то, что ИИ позволит превратить человеческую цивилизацию в **открытую систему**. Известные на настоящий момент критерии открытости социума касаются таких моментов как доступ к информации, социальная мобильность, политическая система, права и свободы, инновации в образовании и медицине, экономическая целесообразность. Каждый из них в силу свойств ИИ может получить мощный импульс развития.

Заметим, что слово применение в отношении ИИ мы используем не случайно. Оно играет важнейшую роль, подчёркивая подчинённую роль ИИ в развитии человеческого творчества и цивилизации в целом. Дело в том, что существующие сегодня опасения в приобретении ИИ личностных качеств вполне актуальны [27]. Нет сомнения в том, что ИИ, который существовал бы вне поля деятельности и целей человека, неизбежно превращается в закрытую систему (своего рода «чёрную дыру»). При этом чуждая внешняя воля, самостоятельно ставящая задачи и определяющая кратчайшие пути их решения, способна разрушить самые благие помыслы человека. Поэтому важной отдельной задачей на предполагаемом пути развития человечества представляется создание надёжных ограничите-

лей, препятствующих превращению ИИ в демиурга.

Такие опасения, к сожалению, приобретают реальные основания уже в наши дни. В частности, авторы столкнулись с ситуацией неэтичного на наш взгляд использования ИИ в научной деятельности. Речь идет о случае подготовки рецензии на статью в одном из европейских рейтинговых изданий. В отличии от «человеческих» рецензий, касающихся существа вопроса в ней, превалируют странные рассуждения о стилистике текста и общих подходах к подготовке статей. Второй пример – это разработка с помощью ИИ сценариев проведения школьных мероприятий и классных часов. Конечно, если такие «методички» рассматривать лишь как опорные конспекты, с этим можно смириться. Но мы не застрахованы от того, чтобы подобные «рекомендации» не стали нормой, требующей точного исполнения.

То есть не исключена ситуация, когда под сомнение могут быть поставлены как квалификация и креативность учёного, так и самостоятельность творчества педагога. Посагательство на интеллектуальную открытость и свободу человека не может не тревожить. В данном случае речь идёт о перспективной возможности глубинного психологического конфликта «сущее – должно».

Литература

1. Бельских И.Е. Инновации и альтернативы в современной экономике // Экономика: теория и практика. 2015. № 1 (37). С. 39–43.
2. Бьюкенен П. Смерть Запада. М.: Издательство АСТ, 2003. 444 с.
3. Бьюкенен П. Самоубийство сверхдержавы. М.: Издательство АСТ, 2016. 640 с.
- Солововник А.А., Усенинов Б.М., Маркова А.Г., Сейльбекова Г.Е. Природа негативизма в развитии социума с точки зрения общих физических принципов // Проблемы эволюции открытых систем. – 2024. – №2(26). – С. 54-62.
- Кондратьев Н. Д. Избранные сочинения /под ред. В. Ю. Григорьевой, Е. И. Винокуровой. М.: Экономика, 1993 – 544 с.
- Кондратьев Н. Д. Сузdalские письма. М.: Экономика, 2004 – 879 с.
- Кондратьев Н.Д.: Кризисы и прогнозы в свете теории длинных волн. Взгляд из современности / под ред. Л. Е. Гринина, А. В. Коротаева, В. М. Бондаренко. М.: Моск. ред. изд-ва «Учитель», 2017. – 384 с.
- Абалкин Л. И. Научное наследие Н. Д. Кондратьева и современность. Доклад на Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н. Д. Кондратьева. М.: Ин-т экономики РАН, 1992. – 16 с.
- Гумилёв Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. – 2 изд. испр. и доп. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 496 с.
- Хабермас Ю. Моральное сознание и коммуникативное действие.– СПб., 2001. – 379 с.
- Шпенглер О. Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории. М., 1993. – 265 с.
- Морозов И.Л., Системный кризис западной цивилизации в осмыслении современных российских и зарубежных политологов – сравнительный анализ./ Наука Красноярья, т. 6, № 1, 2017, С. 53 – 63.
- Ассеев В. А. Экстремальные принципы в естествознании и их философское содержание. Л.:ЛГУ, 1977. – 232 с.
- Вариационные принципы механики. Сб. статей классиков науки – М.: Физматгиз, 1959. – 932 с.
- Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика. – М.: Наука, 1982. – 584 с.
- Прангшивили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангшивили; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
- Вернадский В. И. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы // Проблемы биогеохимии. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1939. Вып. 2. С. 2.

- Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.
- Шепелев В.В. Ноосфера Вернадского. Наука и техника в Якутии. № 1(24), 2013, С. 3 – 7.
- Яншина, Ф. Т. Эволюция взглядов В. И. Вернадского на биосферу и развитие учения о ноосфере. – М.: Наука, 1996. 220 с.
- Яншин Л.А. Учение Вернадского о биосфере и переходе её в ноосферу. – Партнёрство цивилизаций № 1-2, 2013, с. 77 – 89.
- Грачев В.А. Учение В.И. Вернадского о ноосфере как основа устойчивого развития //Юг России: экология, развитие. 2015 Т.10, №3. С.16 – 23// DOI: 10.18470/1992-1098-2015-3-16-23.
- Моисеев Н. Н. Идеи Вернадского и проблема Sustainable Development / Моисеев Н. Н. С мыслями о будущем России. М.: Фонд содействия развитию социальных и политических наук, 1997. – С. 224 – 235.
- Режабек Б. Г. Учение о ноосфере для широкого круга читателей. М.: ИНРИ, 2015 – 96 с.
- Режабек Б.Г. Учение В.И. Вернадского о ноосфере и поиск пути выхода из глобальных кризисов.- Век глобализации, № 1, 2008, с. 159-167.
- Моисеев Н.Н. Коэволюция природы и общества. Пути ноосферогенеза // Экология и жизнь. – Весна-лето 1997. – С. 4-7.
- Буравлёв А.И., Ветошкин В.М. Искусственный интеллект: сущность, принципы работы, области применения. – Вооружение и экономика, № 2(26), 2024, С. 33-42.
- Искусственный интеллект в России. Технологии и рынки//под научной редакцией Гохберга Л.М./ ИСИЭЗ ВШЭ, М., 2025, 148 с.
- Журавлёв Д.В., Смолин В.С. Нейросетевая революция искусственного интеллекта и варианты её развития // Проектирование будущего. проблемы цифровой реальности: труды 6-й Международной конференции (2-3 февраля 2023 г., Москва). – М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2023. – С.223-244. <https://doi.org/10.20948/future-2023-16>
- Алексеева И. Ю. Этика искусственного интеллекта как прикладная этика/ Философия и общество. 2024. № 3. С. 69–85// doi: 10.30884/jfio/2024.03.06.

References

- Solodovnik A.A., Useinov B.M., Markova A.G. and Sejl'bekova G.E. Priroda negativizma v razvitiu sociuma s tochki zreniya obshchih fizicheskikh principov, Problemy evolyucii otkrytyh sistem. 2024, №2(26), P. 54-62.
- Kondrat'ev N. D. Izbrannye sochineniya, pod red. V. Yu. Grigor'evoy, E. I. Vinokurovoj and M.: Ekonomika, 1993, 544 p.
- Кондратьев Н. Д. Сузdal'skie pismya. М.: Экономика, 2004, 879 p.
- Kondrat'ev N.D.: Krizisy i prognozy v svete teorii dlinnyh voln. Vzglyad iz sovremennosti, pod red. L. E. Grinina, A. V. Korotaeva, V. M. Bondarenko. M.: Mosk. red. izd-va «Uchitel'», 2017, 384 p.
- Abalkin L. I. Nauchnoe nasledie N. D. Kondrat'eva i sovremennost'. Doklad na Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.D. Kondrat'eva. M.: In-t ekonomiki RAN, 1992, 16 p.
- Gumilyov L.N. Etnogenet i biosfera Zemli. 2 izd. ispr. i dop, L.: Izd-vo LGU, 1989, 496 p.
- Habermas Yu. Moralnoe soznanie i kommunikativnoe dejstvie. SPb., 2001, 379 p.
- Shpengler O. Zakat Evropy. Ocherki morfologii mirovoj istorii. M., 1993, 265 p.
- Morozov I.L., Sistemnyj krizis zapadnoj civilizacii v osmyshlenii sovremennyh rossijskikh i zarubezhnyh politologov – srovnitel'nyj analiz, Nauka Krasnoyarsk, t. 6, № 1, 2017, p. 53 – 63.
- Asseev V. A. Ekstremal'nye principy v estestvoznanii i ih filosofskoe soderzhanie. L.:LGU, 1977, 232 p.
- Variacionnye principy mekhaniki. Sb. statej klassikov nauki. M.: Fizmatgiz, 1959, 932 p.
- Gibbs Dzh. V. Termodinamika. Statisticheskaya mehanika, M.: Nauka, 1982, 584 p.
- Prangishvili I.V. Entropijnye i drugie sistemnye zakonomernosti: Voprosy upravleniya slozhnymi sistemami, I.V. Prangishvili; In-t problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova. M.: Nauka, 2003, 428 p.
- Vernadskij V. I. O korennom material'no-energeticheskem otlichii zhivyh i kosnyh estestvennyh tel biosfery, Problemy biogeohimii. M.,L.: Izd-vo AN SSSR, 1939, Vyp. 2. p. 2.
- Vernadskij V. I. Nauchnaya mysl' kak planetnoe yavlenie. M.: Nauka, 1991, 271 p.
- Shepelev V.V. Noosfera Vernadskogo. Nauka i tekhnika v Yakutii № 1(24), 2013, p. 3 – 7.
- Yanshina, F. T. Evolyuciya vzglyadov V. I. Vernadskogo na biosferu i razvitiye ucheniya o noosfere. – M.: Nauka, 1996. 220 p.
- Yanshin L.A. Uchenie Vernadskogo o biosfere i perehode eyo v noosferu, Partnyorstvo civilizacij № 1-2, 2013, p. 77–89.
- Grachev V.A. Uchenie V.I. Vernadskogo o noosfere kak osnova ustojchivogo razvitiya //Yug Rossii: ekologiya, razvitiye. 2015 T.10, №3. P.16 – 23. doi: 10.18470/1992-1098-2015-3-16-23
- Moiseev N. N. Idei Vernadskogo i problema Sustainable Development, Moiseev N.N. S mysljami o budushem Rossii. M.: Fond sodejstviya razvitiyu socialnyh i politicheskikh nauk, 1997, p. 224–235
- Rezhabek B. G. Uchenie o noosfere dlya shirokogo kruga chitatelej. M.: INRI, 2015, 96 p.
- Rezhabek B.G. Uchenie V.I. Vernadskogo o noosfere i poisk puti vyhoda iz globalnyh krizisov.- Vek globalizacii, № 1, 2008, p. 159-167.
- Moiseev N.N. Koevoljuciya prirody i obshhestva. Puti noosferogeneza, Ekologiya i zhizn. Vesna-letu 1997, p. 4-7.
- Buravlyov A.I., Vetoшкин V.M. Iskusstvennyj intellekt: sushnost, principy raboty, oblasti primeneniya. Vooruzhenie i ekonomika, № 2(26), 2024, p. 33-42.
- Iskusstvennyj intellekt v Rossii. Tehnologii i rynki, pod nauchnoj redakcijey Gohberga L.M., ISIEZ VShE, M., 2025, 148 p.

Zhuravlyov D.V., Smolin V.S. Nejrosetevaya revolyuciya iskusstvennogo intellekta i variandy eyo razvitiya, Proektirovaniye budushego. problemy cifrovoj realnosti: trudy 6-j Mezhdunarodnoj konferencii (2-3 fevralya 2023 g., Moskva). M.: IPM im. M.V.Keldysha, 2023, p.223-244. <https://doi.org/10.20948/future-2023-16>

Alekseeva I. Yu. Etika iskusstvennogo intellekta kak prikladnaya etika, Filosofiya i obshchestvo. 2024, № 3, p. 69–85.// doi: 10.30884/jfio/2024.03.06.

Сведения об авторах:

Солодовник Андрей Андреевич – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики СКУ им. М.Козыбаева (Петропавловск, Казахстан, e-mail: aasolodovnik@mail.ru);

Усеинов Бейбут Мейрамович (автор-корреспондент) – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан, e-mail: buseinov@gmail.com);

Гололобова Евгения Георгиевна – магистр, старший преподаватель кафедры физики СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан, e-mail: egololobova23@mail.ru);

Солодовник Надежда Павловна – научный сотрудник кафедры физики СКУ М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан, e-mail: aasolodovnik@mail.ru);

Сизоненко Светлана Александровна – магистр, старший преподаватель кафедры физики СКУ М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан, e-mail: sizonenko@inbox.ru).

Information about authors:

Solodovnik Andrey Andreevich – candidate of physical and mathematical sciences, Professor of the Department of Physics of SKU M. Kozybayeva (Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: asolodovnik@ku.edu.kz)

Useinov Beibut Meiramovich – candidate of physical and mathematical sciences, Professor of the Department of Physics of SKU M. Kozybayeva (Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: buseinov@gmail.com)

Gololobova Evgeniya Georgievna – magistr, senior lecturer at the Department of Physics of SKU M. Kozybayeva (e-mail: egololobova23@mail.ru)

Solodovnik Nadezhda Pavlovna – research associate SKU M. Kozybayeva (Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: aasolodovnik@ku.edu.kz)

Sizonenko Svetlana Aleksandrovna – magistr, lecturer at the Department of Physics of SKU M. Kozybayeva (e-mail: sizonenko@inbox.ru)

Авторлар тұралы мәлімет:

Солодовник Андрей Андреевич – физика-математика ғылымдар кандидаты, М.Козыбаев атындағы СКУ, физика кафедра профессоры (Петропавл, Қазақстан, e-mail: aasolodovnik@mail.ru)

Усеинов Бейбут Мейрамович (корреспонденция авторы) – физика-математика ғылымдар кандидаты, М. Козыбаев атындағы СКУ, физика кафедра профессоры (Петропавл, Қазақстан, e-mail: buseinov@gmail.com)

Гололобова Евгения Георгиевна – магистр, М. Козыбаев атындағы СКУ, физика кафедра ага оқытушы (Петропавл, Қазақстан, e-mail: egololobova23@mail.ru)

Солодовник Надежда Павловна – М. Козыбаев атындағы СКУ, физика кафедра ғылыми қызметкері (Петропавл, Қазақстан, e-mail: aasolodovnik@mail.ru)

Сизоненко Светлана Александровна – магистр, М. Козыбаев атындағы СКУ, физика кафедра ага оқытушы (Петропавл, Қазақстан, e-mail: sizonenko@inbox.ru)

Поступила на рассмотрение 01.11.25

Принята 19.12.25

К.Ш. Жумадилов¹ , А.А. Жадыранова^{1*} , Ж.А. Байгазинов² ,
Д.К. Аншокова¹ , Н.Ж. Мухамедиаров² 

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Қазақстан

*e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com

ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ИНВЕРСИЯЛАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ПАВЛОДАР ҚАЛАСЫНДАҒЫ АУА ЛАСТАНАУЫНА ӘСЕРІ

Бұл мақалада Қазақстанның ірі өнеркәсіп орталықтарының бірі Павлодар қаласының ауасының ластануы мен оған температура инверсияларының әсері қарастырылады. Павлодар жылуәлектр орталығы (ЖЭС), ірі химиялық және металлургиялық кәсіпорындардағы жақын аймақтар мен негізгі тасымалдану бағыттары талқыланады. Зиянды компоненттердің едәүір бөлігі қолайсыз метеорологиялық факторлар жағдайында түзілетіні, олардың ішінде температуралық инверсиялар шешуші рөл атқарытыны атап етіледі. Бұл атмосфералық құбылыстар ауа қабаттарының тік бағытта қозғалысының табиғи процестерін бұзады, нәтижесінде ластаушы компоненттер жер қабатында жиналып, онда ұзақ уақыт сақталады. Зерттеу жұмысында температура инверсиясының қалыптасуының физикалық, механизмдері, оның ішінде ауа тығыздығының өзгерісі, атмосфералық қабаттар арасындағы жылу алмасу, жел жылдамдығының біліктікке тәуелділігі, сондай-ақ тоқырау құбылыстарын тұғызатын жер бедері мен қала құрылышының ерекшеліктері түсіндірілген. Ластанған атмосфераның химиялық құрамы қарастырылады: негізгі назар отынды жағы және өнеркәсіптік қондырғылардан бөлінетін PM 2.5 ұсақ бөлшектерге, азот оксидтеріне, ауыр металдар, күкірт диоксидіне, көміртегі тотығына және басқа да қосылыстарға аударылады. Бұл компоненттер халықтың денсаулығына үлкен қауіп тәндіреді, жедел және созылмалы респираторлық ауруларды тудырады және сонымен қатар, жүрек-қантамыр, онкологиялық патологиялардың қауілпін арттырады. Алынған мәліметтер мен өлемдік тәжірибелі талдау негізінде тұрақты температура инверсиялары жағдайында ауаның ластануын азайтудың ғылыми негізделген тәсілдері ұсынылған. Мақаланың негізгі бағыты тұрақты температура жағдайында өнеркәсіптік өндірістің атмосфераға әсерін бағалау болып табылады. Сондай-ақ инверсиялардың жиілігі мен ұзақтығы, олардың маусымға және климаттың өзгерісіне тәуелділігі талданады.

Түйін сөздер: температураның инверсиясы, ауаның ластануы, Павлодар, PM2.5 бөлшегі, жылу электр станциясы, жел бағыттары, халық денсаулығы, ластануды азайту тәсілдері, зиянды компоненттер, ауыр металдар, жер бедері.

K.Sh. Zhumadilov¹, A.A. Zhadyranova^{1*}, Zh.A. Baygazinnov²,
D.K. Anshokova¹, N.Zh. Mukhamediarov²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² JSC «Nuclear Technologies Park», Kurchatov, Kazakhstan

*e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com

Temperature inversions and their impact on air pollution in Pavlodar city

This article examines air pollution in the city of Pavlodar, one of Kazakhstan's major industrial centers, and the impact of temperature inversions on it. The Pavlodar Thermal Power Plant (TPP), nearby areas of large chemical and metallurgical enterprises, and the main transportation routes are discussed. It is noted that a significant portion of harmful components is formed under unfavorable meteorological conditions, with temperature inversions playing a decisive role. These atmospheric phenomena disrupt the natural processes of vertical movement of air layers, resulting in the accumulation of pollutants near the ground and their prolonged persistence. The study explains the physical mechanisms of temperature inversion formation, including changes in air density, heat exchange between atmospheric layers, the dependence of wind speed on height, as well as features of the terrain and urban development that contribute to stagnation phenomena. The chemical composition of polluted air is considered: the main focus is on fuel combustion and emissions from industrial facilities of fine particulate matter PM 2.5, nitrogen oxides, heavy metals, sulfur dioxide, carbon monoxide, and other compounds. These components pose

the risk of cardiovascular and oncological pathologies. Based on the obtained data and the analysis of global experience, scientifically grounded methods for reducing air pollution under conditions of stable temperature inversion are proposed. The main focus of the article is assessing the impact of industrial production on the atmosphere under conditions of stable temperature. The frequency and duration of inversions are also analyzed, as well as their dependence on the season and climate changes.

Keywords: temperature inversion, air pollution, Pavlodar, PM2.5 particles, thermal power plant, wind directions, public health, air pollution mitigation, heavy metals.

К.Ш. Жумадилов¹, А.А. Жадыранова^{1*}, Ж.А. Байгазинов²,
Д.К. Аншокова¹, Н.Ж. Мухамедияров²

¹Евразийский национальный университет им. А.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

²АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан

*e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com

Температурные инверсии и их влияние на загрязнение воздуха в городе Павлодар

В этой статье рассматривается загрязнение воздуха в городе Павлодар, одном из крупных промышленных центров Казахстана, и влияние на него температурных инверсий. Обсуждаются Павлодарская теплоэлектростанция (ТЭС), близлежащие районы крупных химических и металлургических предприятий и основные направления транспортировки. Отмечается, что значительная часть вредных компонентов образуется при неблагоприятных метеорологических условиях, при этом решающую роль играют температурные инверсии. Эти атмосферные явления нарушают естественные процессы вертикального движения воздушных слоев, в результате чего загрязняющие компоненты накапливаются у земной поверхности и сохраняются там длительное время. В исследовании объясняются физические механизмы формирования температурной инверсии, включая изменение плотности воздуха, теплообмен между атмосферными слоями, зависимость скорости ветра от высоты, а также особенности рельефа и городской застройки, вызывающие явления застоя. Рассматривается химический состав загрязнённой атмосферы: основное внимание уделяется сжиганию топлива и выбросам с промышленных установок мелкодисперсных частиц PM 2.5, оксидов азота, тяжёлых металлов, диоксида серы, оксида углерода и других соединений. Эти компоненты представляют большую опасность для здоровья населения, вызывают острые и хронические респираторные заболевания, а также повышают риск сердечно-сосудистых и онкологических патологий. На основе полученных данных и анализа мирового опыта предложены научно обоснованные методы снижения загрязнения воздуха при условиях стабильной температурной инверсии. Основное направление статьи – оценка воздействия промышленного производства на атмосферу в условиях стабильной температуры. Также анализируются частота и продолжительность инверсий, их зависимость от сезона и изменений климата.

Ключевые слова: температурная инверсия, загрязнение воздуха, Павлодар, частицы PM2.5, тепловая электростанция, направления ветра, здоровье населения, методы снижения загрязнения, тяжелые металлы.

Кіріспе

Өнеркәсіптік қалалардағы ауаның ластануы қазіргі заманың ең өзекті экологиялық проблемаларының бірі болып табылады. PM 2.5 және өзге де ластаушы компоненттерге ерекше назар аударылады, олар халықтың денсаулығына елеулі әсер етеді. Қазақстанның ірі өнеркәсіп орталықтарының бірі – Павлодар қаласы да бұдан алыс емес. Павлодар жылу электр орталығы (ЖЭС) және металлургиялық зауыттар сияқты ірі кәсіпорындардың қызметі салдарынан қала ластаушы компоненттердің, соның ішінде ауыр метелдар мен қатты бөлшектердің айтарлықтай бөлінуінен қала тұрғындары зардал шегеді. Жағдайды ушықтыратын манызды фак-

тор ол, ауаның қалыпты айналымын болдырмайтын, атмосферадағы ластаушы заттарды үстайтын температуралық инверсиялардың болуы болып табылады [1].

Зерттеулер көрсеткендегі, Павлодар қаласында ауаның ластану деңгейі жоғары, әсіресе өнеркәсіптік нысандарға іргелес аумақтарда. Географиялық ақпараттық жүйелерді пайдалану ластаушы заттардың кеңістіктегі таралуын нақты көрсетуге және олардың қаланың әртүрлі бөліктеріндегі шоғырлануын анықтауға мүмкіндік береді [2]. Сарапшылар ластаушы компоненттердің, соның ішінде жылу электр станцияларының шығындыларының көбеюіне байланысты, ластанудың айтарлықтай бөлігі қаланың тұрғын аудандарында, әсіресе температура

инверсиялары барынша айқын болатын сұық мезгілдерде жиналатынын атап өтті. Бұндай жағдайлар атмосфераның төменгі қабаттарында ластаушы компоненттердің жиналатына ықпал етеді, бұл ауаның сапасын айтартықтай нашарлатады және халық арасында түрлі аурулардың қаупін арттырады.

Павлодар облысында ауаны ластайтын бірнеше негізгі қоғамдықтар орналасқан, олардың негізгілері жылу энергия станциялары (ЖЭС), металлургиялық зауыттар мен көмір шахталары болып табылады. Облыста үш ірі жылу энергия станциясы жұмыс істейді: Павлодар жылу орталығы-1, ЖЭС-2, ЖЭС-3, олар атмосфераға ластаушы компоненттерді шығарудың маңызды көздері болып табылады. Бұл зауыттар көмірді жағады, ол ауаға қатты бөлшектерді, көмірқышқыл газын және басқа да зиянды компоненттерді, соның ішінде ауыр металдар мен азот оксидтерін шығарады.

Материалдар және негізгі әдістер

Атмосфера РМ 2.5, ауыр металдардың және өнеркәсіптік көздерден шығатын оксидтердің шығарындыларымен ластанған. Бұл ластаушы компоненттердің кеңістікте таралуы атмосфералық қабаттағы турбулентті тасымалдау және дисперсия физикасымен анықталады. Ластаушы компоненттердің дисперсиясын сипаттайтын негізгі модельдердің бірі келесідей жазылған диффузия тендеуіне негізделген кері Гаусс үлгісі болып табылады

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{u} \nabla C = K_H \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_V \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + S, \quad (1)$$

Мұндағы, C – ластаушы компоненттердің концентрациясы, \vec{u} – жел жылдамдығының векторы, K_H және K_V – көлденең және тік бағыттағы турбулентті диффузия коэффициенттері, S – ластаушы көзі [3]. Бұл формула ластаушы компоненттердің желмен тасымалдануын ғана емес, сонымен қатар олардың дисперсиясын сипаттайды, бұл көздерге жақын тұнуға бейім ауыр металдардың өсерін бағалау үшін өте маңызды.

Атмосферада ластаушы компоненттердің таралуы мен жиналатын анықтатытын физикалық процестер өсіреле температуралық инверсиялар мен беткі қабаттың әлсіз турбуленттілігі жағдайында айқын көрінеді. Температуралың

инверсиясы кезінде жер бетіне жақын орналасқан сұық ауа жылы ауа қабатының астында қалып, тік араласу шектелген тұрақты стратификацияны тудырады. Мұндағы жағдайда өнеркәсіптік көздерден бөлінділер, соның ішінде РМ 2.5 бөлшектері, құқырт диоксиді және басқа да ауыр металдар атмосфераның төменгі қабаттарында жиналады [4, 5]. Физикалық тұрғыдан алғанда, мұндағы процестер молекулалық және турбуленттік диффузияны ескере отырып, ластаушы компоненттердің тің тасымалдану тендеуі арқылы сипатталады

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_V \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial (wC)}{\partial z}, \quad (2)$$

Мұндағы, w – тік ауа жылдамдығы болып табылады. Температуралың инверсиясы кезінде K_V күрт төмендейді және ауаның тік қозғалысы іс жүзінде болмайды, бұл ластаушы заттардың жиналатына алып келеді.

Температуралың инверсиясы ластаушы заттардың тік тасымалдануына кедерігі жасайды. Бұл процесс өсіреле РМ 2.5 және ауыр металдар үшін өауіпті, себебі олар жердің төменгі қабатында шоғырланады. Тұрақты инверсиялар ашық ауа райында және топырақтың кешкі салқындауы кезінде қалыптасады, бұл температура инверсиясын тудырады

$$\frac{dt}{dz} > 0, \quad (3)$$

Яғни температура биіктікке қарай артады. Бұл ретте құбырлар мен желдеткіш саңылау-ларыдан шығатын ластаушы компоненттер инверсия қабатынан жоғары көтеріле алмайды және қалалық атмосферада жиналады [4].

Жел бағытының диаграммасы желдің басым бағыты мен жылдамдығын көрсетеді, бұл ластанудың тұрғын үйлерге қарай ауысуын талдау кезінде өте маңызды. Әлсіз желдер ($< 1 \text{ м/с}$) тоқырауға және бастапқы аймақта ластаушы заттардың жиналатына алып келеді. Бұл өсіреле РМ 2.5 және басқада да ауыр металдарға қатысты, олардың тұну жылдамдығы төмен және алыс қашықтыққа тасымалдану мүмкіндігі жоғары. Бағытты тасымалдануды бағалау үшін желдің орташа векторы анықталады

$$\vec{u}_{\text{opt}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{u}_i, \quad (4)$$

Машиналық оқытуға негізделген болжамды модельдер ластаушы компоненттердің концентрациясын болжау үшін метеорологиялық факторлар мен эмиссия сипаттамаларын ескереді, соның ішінде көп компонентті қоспалары бар күрделі сценарийлер [6].

Негізгі ластаушы компоненттердің бірі – РМ 2.5, мөлшері 2,5 мкм-ге дейінгі бөлшектер, олар кішкентай болғандықтан, өкпенің ең терен жерлеріне еніп, қанға ене алады. Физикалық түрғыда бұл бөлшектер ауда бола отырып, диффузия арқылы және жел мен температура инверсиясының әсерінен тасымалдануы мүмкін. Соңғылары атмосфераның төменгі қабаттарында ластаушы заттардың жиналудына жағдай жасай отырып, тыныс аду кеністігінде РМ 2.5 концентрациясын арттырады. Бұл бөлшектердің денсаулыққа әсері тыныс алу жолдарындағы қабыну процестерінің күшесіндегі, жүрек-қан тамырлары ауруларының қауіпін жоғарлатып, өкпе газ алмасуының бұзылуында, сонымен қатар созылмалы өкпе ауруларының дамуына әкеледі [6, 7].

Жылу электр станцияларында көмірді жағу кезінде бөлінетін күкірт диоксиді жоғары химиялық белсенділікке ие және тыныс алу жолындағы сүмен тез әрекеттесіп, күкірт қышқылын түзеді. Бұл процесс шырышты қабықтарды тітіркендіреді және қабынуды тудырады, ол өз кезегінде тыныс алу жолдарының нашарлаудына әкеледі. CO₂ сонымен қатар температураның инверсиясы кезінде атмосфераның төбенгі қабаттарында ұсталып қалуы мүмкін аэрозольдердің түзілуіне ықпал кетеді, қаланың төменгі орналасқан аудандарында ауаның ластануының әсерін арттырады [8]. Мұндай инверсиялар ластаушы компоненттердің тік қозғалысын физикалық түрде шектеп, олардың жер бетіне жақын аумақта ұстайды. Бұл аудағы SO₂ концентрациясын арттырады, бұл өз кезегінде бронхит, астма сияқты созылмалы респираторлық ауруларға, сондай-ақ жүрек-қан тамырлары ауруларының дамуына әкелуі мүмкін, себебі SO₂ тамыр қабырғаларында қабыну ықтималдылығын арттырады [9, 10]. Физикалық түрде CO ауда онай таралады, ал температуралық инверсия жағдайында оның атмосфераның төменгі қабаттарындағы концентрациясы айтарлықтай артады [11-13]. Бұл компоненттердің ағзада жиналу қабіледі бар, бұл созылмалы улануға және жасушалардың бұзылуында әкеледі. Кадмий бүйрек пен өкпені

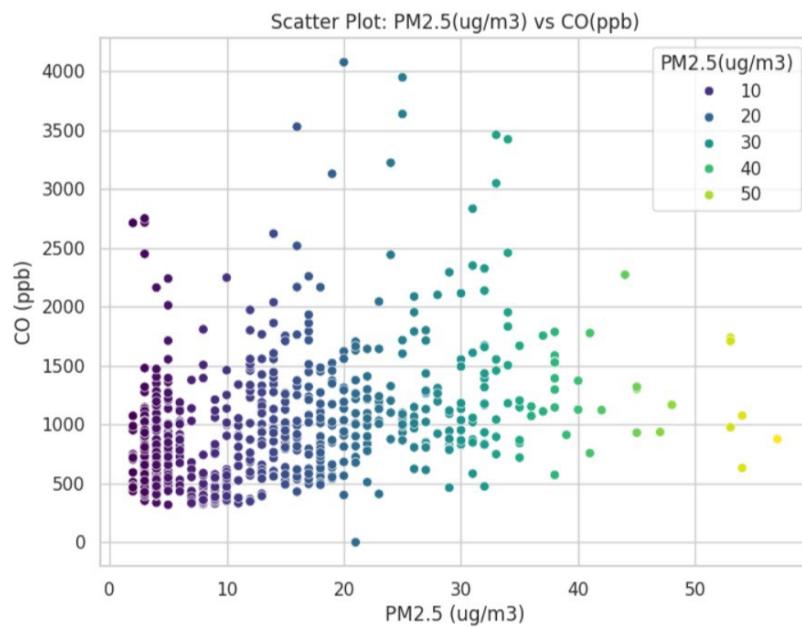
закымдайды, ал сиңып орталық жүйке жүйесіне әсер етіп неврологиялық бұзылулар мен есте сақтау қабілетінің бұзылуына әкеледі. Бұл ауыр металдар басқа ластанушы компоненттер сияқты атмосфераға еніп, диффузиялық және жел ағындары арқылы тарай алады, сонымен қатар ластаушы компоненттер ауаның беткі қабатында жиналған кезде олардың концентрациясы температуралық инверсия жағдайында жоғарылайды [14-15].

Температура инверсиялары ластаушы заттардың дисперсиянда шешуші рөл атқарады, себебі олар тік айналымға кедергі келтіретін тұрақты ауа қабаттарын жасайды және ластаушы компоненттердің жер бетіне жақын ұстайды. Бұл құбылыс әсіресе қыста, атмосфераның төменгі қабаттарында қалатын сұық ауа барлық шығындыларды жинақтағанда, олардың концентрациясының жоғарлаудына әкеледі. Осылайша, ластаушы компоненттер бөлінділер көздері шоғырланған жерлерде қалады, бұл олардың адамдардың денсаулығына әсерін арттырады [15, 16].

Нәтижелер мен талқылаулар

Ауа сапасын жақсарту бағдарламалары өнеркәсіптік нысандардың ластаушы заттардың әсерін азайтуда маңызды рөл атқарады. Негізгі бағыттардың бірі – өнеркәсіптік кәсіпорындарды дамыту мен пайдаланудың тұрақты әдістерін енгізу. Бұған технологияларды жаңарту, энергия тиімділігін арттыру және таза энергия көздеріне көшу кіреді, бұл өз кезегінде атмосфераға зиянды заттардың шығарылуын азайтады. Маңызды аспект – қалдықтар атмосфераға шығарылатын емес, қайта өндөлетін жабық өндірістік циклдарды құру, бұл ластану деңгейін төмendetеді [17].

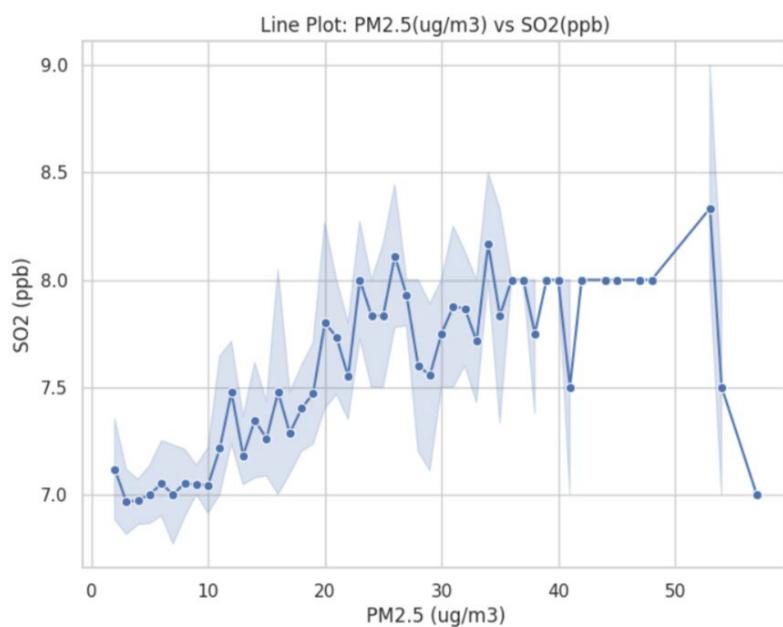
Ауа сапасын жақсартудың тағы бір тәсілі – Қытайдың көмірден газға көшу бағдарламасы аясындағыдай көмірден табиғи газға ауысу сияқты таза энергия көздерін пайдалану. Бұл ауысу көмірқышқыл газының, күкірт оксидтерінің және басқа да ластаушы заттардың шығарындыларын айтарлықтай азайтады, бұл ірі өнеркәсіптік қалалардағы ауа сапасына үзак мерзімді оң әсер етеді. Мұндай технологияларды басқа елдерде, соның ішінде Қазақстанда енгізу өнеркәсіптік аймақтардағы ауа сапасын жақсарту стратегиясының маңызды бөлігіне айналуы мүмкін [18].



1-сүрет – Шашырау схемасы: Павлодар атмосферасындағы PM2.5 және CO концентрациясы арасындағы байланыс

Сонымен қатар, ауаның ластануын тиімді бақылау үшін желдің үлгілері сияқты қалалық климаттың әсерін ескеру маңызды. Жел ағындарын ескере отырып, қалалық органы жобалау ластаушы заттардың таралуына айтарлықтай әсер етуі мүмкін, ал түрғын және өнеркәсіптік

аймақтарды дұрыс орналастыру аудағы ластаушы заттардың концентрациясын азайтуға көмектеседі. Мұндай факторларды стратегиялық қала жоспарлауына енгізу салауатты органы құруға және халықтың денсаулығына қауіптерді азайтуға көмектеседі [19].



2-сүрет – Температуралық инверсия жағдайындағы PM2.5 пен SO₂ деңгейлерінің арасындағы сыйықтық байланыс

(1-сурет) PM 2.5 (мкг/м³) және CO (ppb) арасындағы байланысты көрсетеді, деректер PM 2.5 деңгейлері бойынша топтастырылған. Айқын тенденция байқалады: PM 2.5 концентрациясы жоғарылаған сайын CO деңгейі де артады. (2-сурет) PM 2.5 және SO₂ (ppb) арасындағы байланысты көрсетеді, мұнда SO₂ деңгейлерінің біркелкі өсуі PM 2.5 белгілі бір шекке дейін жоғарылағанда байқалады. Бұл тәуелділіктер температураның инверсиясының нәтижесі болуы мүмкін, онда сұық ауа атмосфераның төменгі қабаттарында ластанушы заттарды «үстап», олардың таралуына жол бермейді. Инверсиялар өсіресе қысқы кезеңдегі Павлодар қаласына тән, мұнда төмен температура кезінде концентрация шындарын бақылауға болады. Осылайша, екі графикте температура инверсияларының

Қорытынды

Температура инверсиялары ластанушы заттардың, өсіресе PM 2.5 бөлшектерінің деңгейі рұқсат етілген деңгейден айтарлықтай асып түсегін Павлодар қаласы сияқты өнеркәсіптік қалаларда ауаның ластануында маңызды рөл атқарады. Инверсиялар, сұық ауа жылы қабаттар арасында ұсталғанда, атмосфералық тұрақтандыруды тудырады, бұл ауаның тік араласуына жол бермейді және атмосфераның төменгі қабаттарында ластанушы заттардың сақталуына алып келеді. Бұл жер қабатында ластанушы бөлшектердің жиналуды арттырады, бұл өсіресе Павлодар қаласы сияқты халық тығыз орналасқан және өнеркәсіптік аудандарда қауіпті, ластанудың негізгі көздері жылу электр станциялары мен басқа да өнеркәсіптік кәсіпорындар болып келеді. Құрамында күкірт, азот оксидтері және ауыр металдар бар осы көздерден шығарындылар температура инверсияларымен қосылып, адам денсаулығы мен қоршаған ортаға қауіпті атмосфераны құрайды.

Сонымен бірге, Павлодар қаласының атмосфералық ауасының ластануын тиімді төмендету үшін атмосфераға ластанушы заттардың таралуына әсер ететін физикалық процестерді ескеру маңызды. Мысалы, температура инверсия деректерін және олардың турбулентті ауа араластыру механизмдеріне әсерін пайдалану ластануды болжауға көмектеседі. Инверсия кезінде PM2.5 сияқты ластанушы заттар жер қабатында қалып, олардың жиналудың маңызды белгі болып табылады. Ластанушы заттардың дисперсиясын модельдеуді, соның ішінде кері Гаусс үлгісін пайдалану ластанған аумақтарды дәлірек болжауға және олардың адамдарға әсерін барынша азайтуға мүмкіндік береді. Динамикалық атмосфералық модельдеу және ауа ағынының тік құрылымын қарастыру сияқты физикалық әдістерді пайдалану өнеркәсіптік деңгейде шығарындыларды жоспарлауға және басқаруға көмектеседі. Бұл әдістер өнеркәсіптік экологияның инновацияларымен біріктіріліп, ластануды азайтуға ғана емес, сонымен қатар оның жергілікті климаттық және ауа райы жағдайында таралуының физикалық ерекшеліктерін ескере отырып, ауаны тазарту үшін онтайлы жағдайлар жасауға мүмкіндік береді.

Алғыс

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Фылым және жоғары білім министрлігінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы аясында жүзеге асырылды (ЖТН №BR27101493) – «Ластанау көздерінің таралуын анықтау негізінде Қазақстаның өнеркәсіптік қалаларында ауаның ластануын азайту стратегияларын жасау» жобасы бойынша.

References

1. Safarov, R. (2023). *Spatial distribution of PM5 and PM10 pollutants in residential area of pavlodar, kazakhstan*. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series Chemistry and Technology, Series 3, 15-30. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.202>
2. Safarov, R. (2024). *Spatial Analysis of Air Pollutants in an Industrial City Using GIS-Based Techniques: A Case Study of Pavlodar, Kazakhstan*. Sustainability, 16(17), 7834. <https://doi.org/10.3390/su16177834>
3. Lushi, E. (2010). *An inverse Gaussian plume approach for estimating atmospheric pollutant emissions from multiple point sources*. Atmospheric Environment, 44(8), 1097–1107. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.039>

4. Xu, X. (2020). *Land use regression modelling of PM2. 5 spatial variations in different seasons in urban areas*. *Science of the Total Environment*, 730, 139065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140744>
5. Feng, X. (2020). *Temperature inversions in the atmospheric boundary layer and their impact on air pollution in the Sichuan Basin*. *Science of the Total Environment*, 726, 138579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138579>
6. Han, J. (2023). *Machine learning for urban air quality analytics: A survey*. *arXiv preprint arXiv:2310.09620*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.09620>
7. Cho, E. (2021). *Distribution and Influencing Factors of Airborne Bacteria in Public Facilities Used by Pollution-Sensitive Population: A Meta-Analysis*. *Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7504. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147504>
8. Young, S. S. (2020). *Evaluation of ambient air quality data for epidemiological research: A case study of measurement uncertainty*. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 114, 104647. <https://doi.org/10.1080/10408444.2019.1576587>
9. Fatkhutdinova, L. M. (2021). *Environmental risk factors for respiratory diseases in industrial regions*. *Kazan Medical Journal*, 102(6), 956–962. <https://doi.org/10.17816/KMJ2021-862>
10. Nakhratova, V. (2020). *Impact of air pollution with particulate particles on the risk of cardiovascular diseases (review)*. *Human Ecology*, 6, 42–48. <https://doi.org/10.17816/humeco104609>
11. Antonelli, J. (2016). *Low-Concentration PM₅ and Mortality: Estimating Acute and Chronic Effects in a Population-Based Study*. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 834–840. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409459>
12. Larsen, A. (2020). *Exposure to air pollution and its effects on cognitive performance: A meta-analysis*. *Environmental Research*, 183, 109206. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109206>
1. Brody, M. (2023). *Particulate air pollution in Tashkent and consequences to population health*. *Hygiene and Sanitation*, 102(5), 457–462. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-13-16>
2. Song, (2017). *Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China*. *Environmental Pollution*, 223, 575–586. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.060>
3. Lin, H. (2017). *Long-term exposure to ambient PM_{2.5} and hypertension: A systematic review and meta-analysis*. *Hypertension*, 69(5), 806–812. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.08839>
4. Lelieveld, J. (2015). *The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale*. *Nature*, 525(7569), 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
5. Mukhopadhyay, A. (2014). *Control of industrial air pollution through sustainable development*. *Environment, Development and Sustainability*, 16(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s10668-013-9473-x>
6. Leng, X. (2022). *Assessing the effect of the coal-to-gas program on air pollution: evidence from China*. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9), 24027–24042. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23739-6>
7. Xiong, J. (2023). *City Wind Impact on Air Pollution Control for Urban Planning with Different Time-Scale Considerations: A Case Study in Chengdu, China*. *Atmosphere*, 14(7), 1087. <https://doi.org/10.3390/atmos14071087>

Авторлар туралы мәлімет:

Жумадилов Касым Шаймарданович – PhD докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия үлттүк университеті, Физика-техникалық факультеттің ядролық физика, жаңа материалдар жөнө технологиялар халықаралық кафедрасының мемлекеттік мекемесі, ORCID ID: 0000-0002-0205-4585 (Астана, Қазақстан, e-mail: zhumadilovk@gmail.com).

Жадыранова Алия Амирбековна – PhD, жалпы жөнө теориялық физика кафедрасының доценті (м.а.), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия үлттүк университеті, ORCID ID: 0000-0003-1153-3438 (Астана, Қазақстан, e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com).

Байгазинов Жанат Абылқанович – PhD, биология гылымдарының кандидаты, «Ядролық технологиялар паркі» АҚ басқарма төрагасы, ORCID ID: 0000-0002-0348-8473 (Курчатов, Қазақстан, e-mail: zh.baigazinov@gmail.com).

Аншокова Дина Куанышқызы – магистрант, жалпы жөнө теориялық физика кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия үлттүк университеті, ORCID ID: 0009-0005-1329-492X (Астана, Қазақстан, e-mail: anshokova06@gmail.com).

Мұхамедиаров Нұрлан Жумагазыевич – химия магистрі, «Ядролық технологиялар паркі» АҚ, ORCID ID: 0000-0001-5073-5978 (Курчатов, Қазақстан, e-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com).

Information about authors:

Kassym Shaimardanovich Zhumadilov – PhD, Professor, Head of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, Faculty of Physics and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: zhumadilovk@gmail.com).

Aliya Amirkbekova Zhadyranova – PhD, Acting Associate Professor, Department of General and Theoretical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com).

Zhanat Abylkanovich Baigazinov – PhD, Candidate of Biological Sciences, Chairman of the Board, JSC “Park of Nuclear Technologies” (Kurchatov, Kazakhstan, e-mail: zh.baigazinov@gmail.com).

Dina Kuanshevna Anshokova – Master's student, Department of General and Theoretical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan, e-mail: anshokova06@gmail.com).

Nurlan Zhumagazyevich Mukhamediarov – Master of Chemistry, JSC «Park of Nuclear Technologies» (Kurchatov, Kazakhstan, e-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com).

Сведения об авторах:

Жұмадилов Қасым Шаймарданович – PhD-доктор, профессор, заведующий международной кафедрой ядерной физики, новых материалов и технологий физико-технического факультета Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва (Астана, Казахстан, e-mail: zhumatdilovk@gmail.com).

Жадыранова Алия Амирбековна – PhD, и. о. доцента кафедры общей и теоретической физики Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва (Астана, Казахстан, e-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com).

Байгазинов Жанат Абылқанович – PhD, кандидат биологических наук, председатель правления АО «Парк ядерных технологий» (Курчатов, Казахстан, e-mail: zh.baiqazinov@gmail.com).

Аншокова Дина Куанышевна – магистрант кафедры общей и теоретической физики Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва (Астана, Казахстан, e-mail: anshokova06@gmail.com).

Мухамедиев Нурлан Жумагазыевич – магистр химии, АО «Парк ядерных технологий» (Курчатов, Казахстан, e-mail: nurlan.eventumlab@gmail.com).

Қарастырылуға 16.04.25 түсі
Қабылданды 02.11.25

А.У. Амренова , А.М. Жукешов* , Е.Е. Салимов ,
У.Б. Абдыбай , М.И. Пшиков 

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: zhukeshov@physics.kz

ОСОБЕННОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА ПЛАЗМОЙ ВАКУУМНОЙ ДУГИ И ИСПЫТАНИЕ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Металлы переходной группы и их сплавы активно применяются в электрохимических топливных элементах, одним из которых являются металло-воздушные батареи (МВБ). В данном исследовании для создания электродов МВБ предлагается использование высокотемпературного сплава (ВЭС) из металлов переходной группы. Методом низкотемпературного синтеза был изготовлен образец катода в виде твердого сплава из переходных металлов состава Fe-Co-Ni-Nb-Mo и проведено его распыление плазмой на установке ВДУ. На подложках из меди осаждены сплошные слои толщиной 94–103 мкм стехиометрического состава идентичного распыляемому катоду. В структуре однородных покрытий, осажденных при распылении в условиях среднего вакуума, присутствуют микроскопические включения с высоким содержанием кислорода и углерода. На поверхности распыляемых катодов обнаружены круглые углубления размером 100–200 мкм, природа которых связана с током дуги на поверхности, который концентрируется в катодных пятнах. Показано увеличение энергетических показателей МВБ при испытаниях материалов из ВЭС с обработанной плазмой поверхностью в качестве анодов. При обработке интегрального катода из ВЭС на его поверхности формируется шероховатый рельеф, что понижает плотность тока и способствует улучшению химической стойкости материала.

Ключевые слова: высокотемпературный сплав, плазменное распыление, покрытие, электрохимия, металло-воздушные батареи.

A.U. Amrenova, A.M. Zhukeshov*, Ye.E. Ssalimov,
U.B. Abdybai, M.I. Pshikov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: zhukeshov@physics.kz

Characteristics of high entropy alloy spraying by vacuum arc plasma and test in electrolyte

Transition metals and their alloys are widely used in chemical catalysis and successfully employed in electrochemical fuel cells, one of which is metal-air batteries (MABs). This study proposes the use of a high-entropy alloy (HEA) made of transition metals to create MAB electrodes. A cathode sample, a solid transition metal alloy of Fe-Co-Ni-Nb-Mo composition, was fabricated using low-temperature synthesis and plasma-sputtered using a VDU system. Continuous layers 94–103 μm thick and of stoichiometric composition identical to the sputtered cathode were deposited on copper substrates. The structure of the homogeneous coated layers, deposited by sputtering under medium vacuum conditions, contains microscopic inclusions with high oxygen and carbon contents. Circular depressions measuring 100–250 μm were found on the surface of sputtered cathodes. These depressions are related to the arc current on the surface, which is concentrated in the cathode spots. An increase in the energy performance of the MAB was demonstrated when testing HEA materials with plasma-treated surfaces as anodes. When treating an integral HEA cathode, a rough relief is formed on its surface, which reduces the current density and improves the chemical resistance of the material.

Keywords: high-entropy alloy, plasma spraying, coating, electrochemistry, metal-air batteries.

А.У. Амренова, А.М. Жукешов*, Е.Е. Салимов,

Ұ.Б. Әбдібай, М.И. Пшиков

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: zhukeshov@physics.kz

Вакуумдық доғалық плазма арқылы жоғары энтропиялық қоспаны бүршіктеу ерекшеліктері және электролитте сынау

Әтпелі металдар және олардың қорытпалары химиялық катализде кеңінен қолданылады және электрохимиялық отын элементтерінде сәтті қолданылады, олардың бірі металл-ауа батареялары (МАБ). Бұл зерттеу МАБ электродтарын жасау үшін әтпелі металдардан жасалған жоғары энтропиялық қорытпаны (ЖЭҚ) пайдалануды ұсынады. Катод үлгісі, Fe-Co-Ni-Nb-Mo композициясының қатты әтпелі металл қорытпасы тәмен температуралық синтезді қолдану арқылы дайындалды және ВДУ-1 жүйесі арқылы плазмалық шашыратылдды. Мыс субстраттарында 94-103 мкм қалыңдықтағы және шашыраған катодқа үқсас стехиометриялық құрамдағы үздікіз қабаттар түндірылды. Орташа вакуум жағдайында шашырату арқылы түндірылған біртекті қапталған қабаттардың құрылымында жоғары оттегі мен көміртегі бар микроскопиялық қосындылар бар. Шашыраған катодтардың бетінде өлшемі 100-250 мкм болатын шенберлі ойыстар табылды. Бұл ойыстар катодтың нүктелерде шоғырланған бетіндегі доғалық токпен байланысты. МАБ энергетикалық өнімділігінің жоғарылауы анондтар ретінде плазмамен өндөлген беттері бар ЖЭҚ материалдарын сынау кезінде көрсетілді. Интегралды ЖЭҚ катодын өңдеу кезінде оның бетінде тоқтың тығыздығын тәмнедететін және материалдың химиялық төзімділігін жақсартын өрсекел рельеф пайда болады. Оған себеп металл бетінде плазмалық өндегеннен соң микроленгейде қалыптастын рельеф сырт беттің ауданын үлкейтеді ал тоқ, тығыздығын азайтады.

Түйін сөздер: жоғары энтропиялық қорытпа, плазмалық бүркү, қаптау, электрохимия, металл-ауа батареялары.

Введение

Металло-воздушные батареи (МВБ) имеют высокую теоретическую плотность энергии, и их предполагается использовать в качестве решения для электрохимического накопления энергии следующего поколения для приложений, включая электромобили или хранение энергии в сети. Однако они не полностью реализовали свой потенциал из-за проблем, связанных с металлическим анодом, воздушным катодом и электролитом. В целом, в металло-воздушных батареях с металлическими электродами проблемами являются металлические дендриты, изменения формы электродов, коррозия, побочные реакции и поверхностная пассивация [1]. Для разных типов металлов ключевые проблемы и стратегии смягчения последствий могут быть разными. На настоящий момент наиболее исследованы цинковые, литиевые и алюминиевые электроды. В работе [2] Паркер и др. предложили трехмерную губчатую цинковую губку с взаимосвязанными порами и электропроводностью, но результаты только обнадеживают. В работе [3] разработан вид пористого Zn-электрода с большой удельной поверхностью, синтезированный пузырьковым методом. Было обнаружено, что уменьшение размера пор может повысить производительность воздушно-цинковой батареи. Эти и множество других литературных данных позволяют сделать предположение, что

увеличение удельной поверхности электрода однозначно приводит к повышению энергетических показателей анодных материалов МВБ. Повышение удельной поверхности можно достигать с применением обработки импульсным потоками энергии.

К ВЭС относятся сплавы, состоящие из пяти и более элементов с атомной концентрацией между 5 и 35 %. Высокая энтропия смешения элементов в сплаве рассматривается как мера вероятности сохранения их системы в данном состоянии. Это обеспечивает повышенную термическую стабильность фазового состава и структурного состояния, следовательно, и механических, физических, химических свойств. В обзорной работе [4] проанализированы теоретические и экспериментальные результаты по структуре, свойствам, способам получения ВЭС с акцентом на их использование в областях, связанных с энергетикой. Для литий-ионных аккумуляторов материалы на основе высокоэнтропийных оксидов могут применяться в качестве анодов и катодов. Для натрий-ионных аккумуляторов отмечено 83 % сохранения емкости после 500 циклов. Синтезированный нанопористый ВЭС AlCoCrFeNi, используемый в качестве электрода, обладает высокими емкостью (700 Ф/см^3) и циклической стабильностью (>3000 циклов). Однако для воздушных аккумуляторов сведений нет. Пористые материалы также активно пытаются получить для окислительно-

восстановительных реакций и катализа. Авторы работы [5] получили высокоеффективный пористый ВЭС CoCrFeNiMo методом микроволнового спекания: избыточный потенциал достигает 220 мВ при плотности тока 10 мА/см². Это связано с возможностью пористой структуры обеспечивать электронный перенос. Полученные методом магнетронного распыления высокотропийные оксидные пленки (FeCrCoNiAl0,1)Ox обеспечивали избыточный потенциал 381 мВ и электролизную стабильность в течение 120 ч в щелочном растворе при плотности тока 10 мА/см² [6]. Таким образом, ВЭС также можно разрабатывать в пористом виде, однако методы синтеза отличаются. Так как ВЭС это твердый сплав, то его обработка плазмой также может быть успешно проведена с использованием имеющейся аппаратуры.

Вакуумная дуга – это атмосферная дуга при низком давлении. Мощность стационарной дуги составляет не менее 1,5 кВт [7]. Импульсная дуга, в отличие от стационарной характеризуется невысокой средней электрической мощностью 0,1-0,3 кВт, что является существенным преимуществом при использовании плазмы импульсной дуги в процессах PVD [8,9]. Помимо энергетических параметров, определяющими факторами в работе импульсного дугового разряда являются состав плазмы, ее температура, а также наличие или отсутствие магнитного и электрического полей [10-12]. Существенной проблемой для использования электрической дуги в нанотехнологиях является наличие в ее плазме микрочастиц в виде капель металла и пылинок. В целом можно сказать, что дуговая плазма состоит из ионной и пылевой составляющей, а также радиации. При распылении многокомпонентного катода могут возникнуть неравновесные условия формирования плазмы различного состава, что может привести к перераспределению частиц как в плазме, так и осаждаемом покрытии.

Таким образом, целью настоящей работы является выяснить особенности распыления такого сложного материала как многокомпонентный катод из ВЭС и получить покрытия. Практический интерес представляет собой испытание ВЭС в качестве анода в метал-воздушных батареях.

Материалы и оборудование

Для изготовления катодов из ВЭС использовалась технология низкотемпературного синтеза компании XebeiMetal construction corporation (заказное), получены катоды чистотой 99,9 %.

Композит состоит из металлов переходной группы состава Fe-Co-Ni-Nb-Mo (по ат. 20%). Подложки для осаждения из меди М01, фабричные штампы в виде пластин размерами 20x20x1 мм. Распыляемый материал осаждали на подложках из меди. В результате экспериментов осаждены слои ВЭС с применением вакуумного дугового распыления. Распыление катодов ВЭС проводилось при уровне вакуума 10⁻⁴ мбар, содержание остаточных газов не более 0,3%. Время напыления изменяли от 10 до 30 минут. Топография поверхности изучалась на сканирующем электронном микроскопе Zeiss 3000, с PCA анализатором INCA.

Для обработки применяли вакуумную установку ВДУ-1 [13] в режиме повторяющихся импульсов. Частота следования импульсов задавалась цифровым генератором и равнялась 15 Гц. Подложки располагались на керамическом изоляторе внутри камеры. Для откачки вакуумной камеры использовали последовательно роторный масляный насос Advavac 50 и диффузионный паромасляный насос NVDM 250. Измерения проводили универсальными вакуумными датчиками Erstvac. Все эксперименты проводили при давлении в камере, соответствующему $p = (2-4) \cdot 10^{-4}$ мбар среднему уровню вакуума.

Для того чтобы тестировать материалы была сконструирована экспериментальная ячейка МВБ. В устройстве электролит заполняет реакционную камеру между воздушным катодом и анодом. Испытуемый анод погружался в электролит и фиксировался на расстоянии 2 см от катода. Предварительные испытания показали, что ток анода практически не зависит от этого расстояния. В качестве электролита использовался раствор едкого калия в концентрации (4-6) моль/л. В качестве воздушного катода использовался промышленный образец на основе углерода и гидрофобного пластификатора с внутренней проводящей сеткой. Катод представлял собой сетку из металла, на которую фиксировался токосъемник. Ток измерялся с помощью мультиметра Appa109N в режиме автоматического сохранения измерений в программном приложении.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показана топография слоя из ВЭС, осажденного на подложке из полированной меди. Как видно, покрытие осаждается сплошным слоем и имеет однородную в целом структуру с микроскопическими включениями. Состав слоев указаны в табл. 1 и 2.

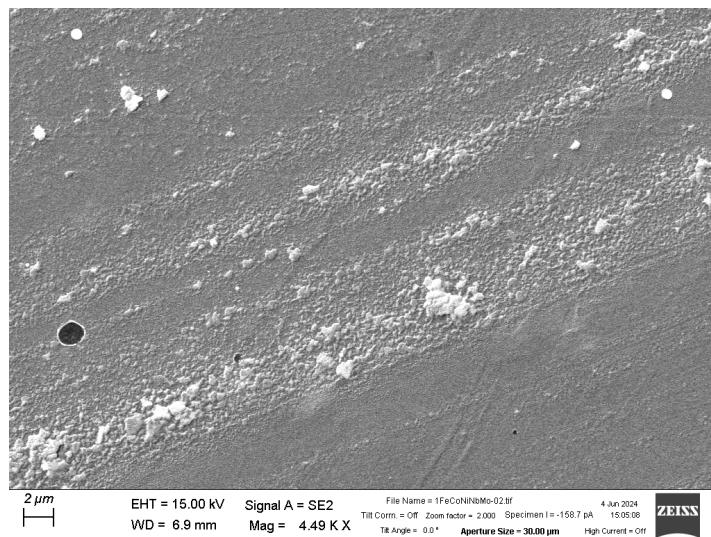


Рисунок 1 – Топография покрытия из ВЭС осажденного на поверхности подложки из меди

Таблица 1 – Химический состав сплошного слоя

Элемент	Fe K	Co K	Ni K	Nb L	Mo L	Totals
Macc.%	12.02	12.46	12.49	21.02	23.36	81.34
At. %	19.40	19.06	19.19	20.40	21.96	

Таблица 2 – Химический состав включений

Элемент	Fe K	Co K	Ni K	Nb L	Mo L	O K	C K	Totals
Macc.%	2.59	3.27	3.35	3.32	4.23	27.42	12.13	56.31
At. %	1.41	1.69	1.74	1.09	1.34	69.60	23.12	

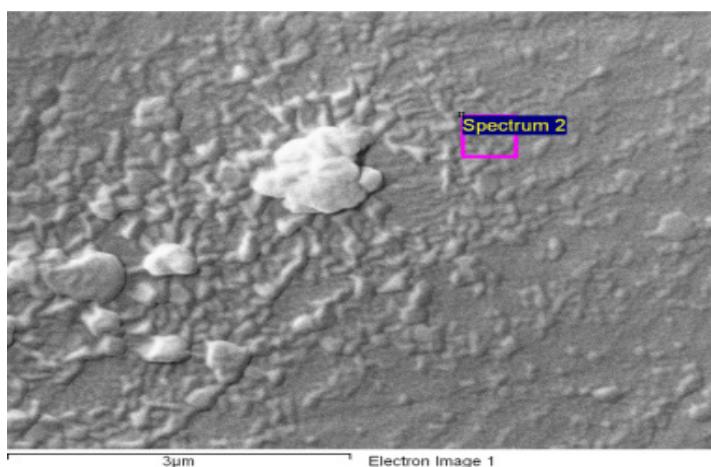


Рисунок 2 – Микроскопические включения на осажденных слоях из ВЭС

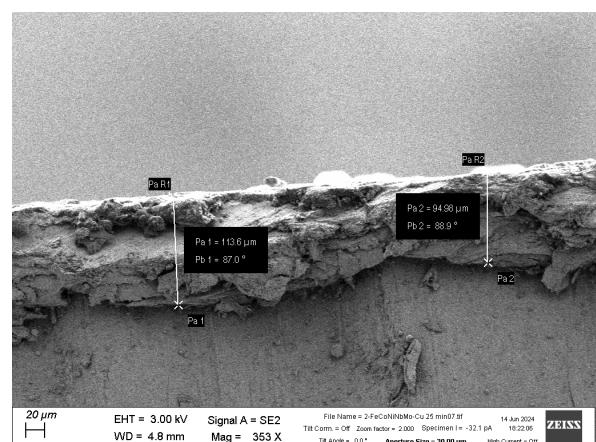
Для того чтобы оценить состав слоев, проведен рентгеноспектральный анализ поверхности. Результат химического анализа показан в таблицах 1 и 2. Как видно, атомный состав покрытия полностью соответствует исходному составу композитного катода с отклонением $\pm 2\%$. Отсутствие меди в составе покрытия свидетельствует о его достаточной толщине. Тем не менее, в материале покрытия также присутствуют углерод и кислород в процентном отношении 12 и 27 %, но только в белых пятнах, как видно на рисунке 2. Значительное содержание активных газов в пятнах связано с масляной откачкой. Бе-

льые пятна, присутствующие на покрытии, связаны реакцией остаточных активных газов в вакууме с материалом подложки с образованием фаз и процессами десорбции водорода в процессе формирования покрытия.

Толщина осажденных покрытий исследовалась с применением СЭМ фотографий поперечного сечения покрытий. На рисунке 3 показаны результаты этих исследований. Как видно, толщина покрытия достаточно равномерна и составляет от 94 до 103 мкм. Структура покрытия однородная, с присутствием включений в виде мелких черных точек.



a



б

Рисунок 3 – Толщина сплошных слоев из ВЭС, осажденных на поверхности подложки из меди на поперечном шлифе (а) и с края образца (б)

В целом можно констатировать, что получаемые методом распыления на ВДУ, обладают пористой структурой. При распылении многокомпонентного катода формируется поток дуговой плазмы различного состава, и в результате перераспределения частиц из-за их различной массы и заряда в плазме, возникают неоднородности в осаждаемом покрытии.

Поверхность катода из ВЭС

В результате распыления на ВДУ поверхность монолитного ВЭС катода подвергалась эрозии. На рисунке 4а на поверхности катода видно образование зоны расплавления в центральной части. При увеличении этой поверхности в 10 раз на рисунке 4 б заметны микро-

скопические углубления размером 100 – 200 мкм. В результате обработки плазмой на поверхности катода формируется шероховатый рельеф с микроскопическими углублениями расположенными хаотически по поверхности. Природа этих углублений очевидно связана с током дуги на поверхности, который концентрируется в катодных пятнах по принципу минимизации энергии. Однако из-за своеобразной структуры сплава, пятна не могут равномерно двигаться по поверхности, а застревают в определенных местах, создавая углубления. Очевидно существенную роль в этом процессе играет и магнитное поле, так как в результате пинчевания его величина увеличивается в пятнах.



Рисунок 4 – Фотография катода из ВЭС (а) и топография его поверхности при ув. 50. Шкала 150 мкм

Оптическим микроскопом методом послойной фокусировки было определено, что глубина кратеров также размером порядка 100 мкм. По этим результатам, далее показано, что шероховатость поверхности играет существенную роль в формировании тока при помещении такой поверхности в среду электролита. В микроскопическом рассмотрении, наличие множества углублений на поверхности можно рассматривать как пористость на микроуровне. Немногим на это, как мы знаем, существует и пористость наnanoуровне, связанная с фазовой структурой ВЭС, описанной выше в литературе.

Испытания образцов в электролите

В данном пункте статьи приведена информация о результатах испытаний образцов целых катодов с обработкой и без, на электрохимической ячейке. Испытаниям подверглись аноды из ВЭС показанные на рисунке 1, а также серия из отдельных элементарных анодов Fe, Co, Ni и др.

В таблице 3 представлены результаты испытаний анодов из ВЭС в испытательной ячейке. Испытания проводились с электролитом KOH, наиболее часто применяемый для анодов МВБ на основе железа, в течение 15-25 мин.

Таблица 3 – Данные испытаний анода из ВЭС Fe-Co-Ni-Nb-Mo с исходной и обработанной плазмой поверхностью в электролите KOH

Время	Анод	I _{max} , A	U _{max} , В	Анод	I _{max} , A	U _{max} , В
5 мин	исходный	0,033	0,7	обработанный	0,27	0,99
15 мин		0,045	0,81		0,24	1,02
20 мин		0,051	0,85		0,221	1,02
25 мин		0,057	0,88		0,20	1,02

Анализируя данные таблицы 3 можно сделать вывод, что при испытании в наиболее сильном щелочном электролите KOH, образцы катодов из ВЭС показывают более высокие показатели по избыточному напряжению 1,0 и 0,7 В, в сравнении с указанными выше литературными данными. Показатели тока для обра-

ботанного плазмой образца катода оказались почти в четыре раза выше тока необработанного образца – 200 мА против 57 мА. Далее на рисунках 5 и 6 показаны кривые напряжения и тока на испытуемых электродах. На рис. 5 ток после начального замедления выходит на участок роста, что позволяет судить о высокой на-

грузочной способности обработанного анода. Начальный рост напряжения на рисунках 5 и 6 мы связываем с динамическими процессами в электролите. В ВЭС основным компонентом является железо, но нам было интересно проследить поведение остальных элементов в со-

ставе ВЭС при испытаниях в разных электролитах. Для этого брали аноды из чистых металлов и проводили аналогичное испытание в ячейке МВБ. Далее в таблице 4 показаны результаты испытаний остальных материалов, входящих в состав ВЭС.

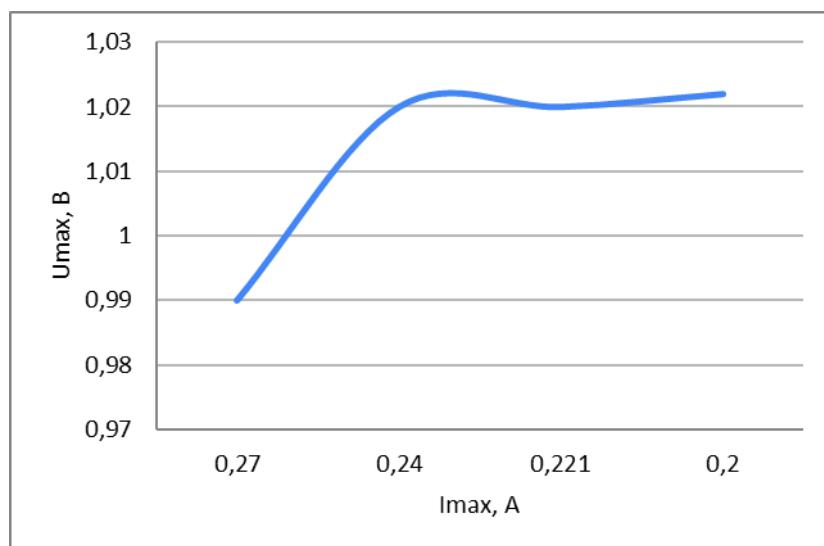


Рисунок 5 – Кривая ВАХ для анода с обработанной поверхностью

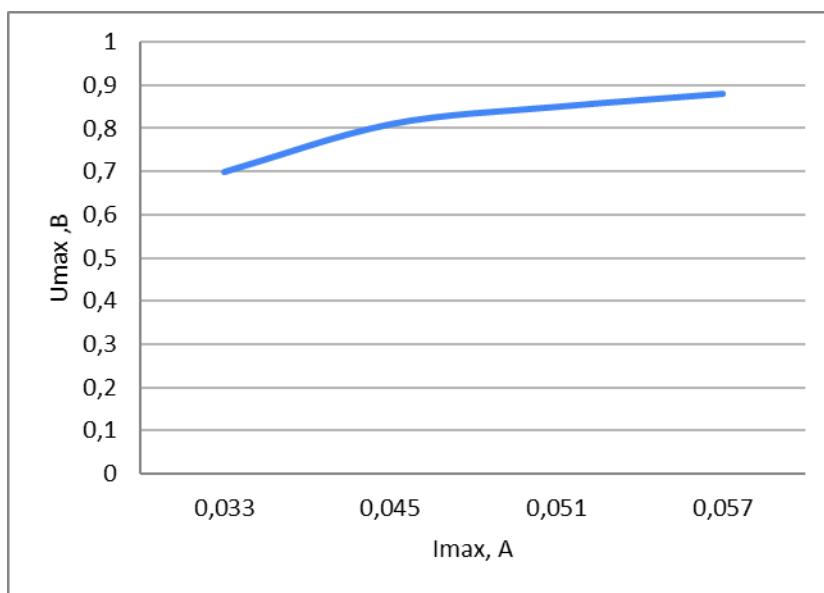


Рисунок 6 – Кривая ВАХ для анода с исходной поверхностью

Таблица 4 – Данные испытаний чистых анодов из различных металлов из состава ВЭС в электролите NaOH

Анод	Время	I _{max} , A	U _{max} , В
Магний	5 мин	0,002	1,34
-	15 мин	0,002	1,18
Кобальт	5 мин	0,004	0,8
-	15 мин	0,005	0,807
Железо	5 мин	0,004	0,8
-	15 мин	0,005	0,62
Никель	5 мин	0,002	0,295
-	15 мин	0,005	0,62
Ванадий	5 мин	0,03	0,67
-	15 мин	0,021	0,68

Как видно из таблицы 4, все материалы, кроме никеля, дают хороший электрохимический потенциал и перспективны для использования в составе ВЭС. Железо и кобальт дают наибольший ток, так как являются сильными катализаторами реакции окисления. Остальные элементы служат для обеспечения коррозионной стойкости, улучшения электропроводности и др. Важный вывод состоит в том, что из данных испытаний невозможно определить оптимальный состав ВЭС, но можно понять динамику процесса окисления. Так, железо быстро теряет потенциал за 15 мин испытаний, а никель наоборот увеличивает его.

Заключение

Таким образом, методом низкотемпературного синтеза был изготовлен образец катода из ВЭС из переходных металлов состава Fe-Co-Ni-Nb-Mo в виде монолитного диска и проведено его распыление плазмой на установке ВДУ. На подложках из меди осаждены сплошные слои толщиной (94-103) мкм из материала катода (ВЭС). Слои имеют высокую однородность и соответствие химическому составу исходного материала катода, однако имеются многочисленные включения, которые при детальном рассмотрении выдают пористую структуру покрытия. Технология обработки, использованная в данном исследовании, обеспечивает новый подход к получению пористых материалов на основе ВЭС, а также способствует разработке соответствующих материалов в области катализа и хранения энергии.

Проведены испытания анода из ВЭС на предмет токоотдачи в электрохимической ячейке МВБ. Существенным результатом является то, что увеличение удельной поверхности электрода путем создания шероховатости поверхности приводило к повышению энергетических показателей анодов из ВЭС. Повышение удельной поверхности было достигнуто применением обработки импульсным потоком плазмы на установке ВДУ. Данная методика может быть использована для создания новых источников энергии.

Работа выполнена при поддержке гранта BR21882187 комитета науки МНУБО РК.

References

1. Hao-Fan Wang and Qiang Xu. Materials Design for Rechargeable Metal-Air Batteries. Matter. Volume 1, Issue 3, 4 September 2019, Pages 565-595
2. Parker, J.F., Chervin, C.N., Nelson, E.S., Rolison, D.R., and Long, J.W.. Wiring zinc in three dimensions re-writes battery performance-dendrite-free cycling. Energy Environ.Sci. 2014, 7, 1117–1124.
3. Peiyuan Liu, Xiaofei Ling, Cheng Zhong, Yida Deng, Xiaopeng Han and Wenbin Hu . Porous Zinc Anode Design for Zn-air Chemistry . Frontiers in Chem. -2019, Volume 7 , Article 656
4. Fu M., Ma X., Zhao K., Li X., Su D. High-entropy materials for energy-related applications // Science. 2021. Vol. 24. No. 3. Article 102177.
5. Tang J., Xu J.L., Ye Z.G., Li X.B., Luo J.M. Microwave sintered porous CoCrFeNiMo high entropy alloy as an efficient electrocatalyst for alkaline oxygen evolution reaction. Journal of Materials Scienceand Technology. 2021, vol. 79, pp. 171–177.
6. Zhao S., Wu H., Yin R., Wang X., Zhong H., Fu Q., Wan W., Cheng T., Shi Y., Cai G., Jiang C., Ren F. Preparation and electrocatalytic properties of (FeCrCoNiAl0.1)Ox high-entropy oxide and NiCo-(FeCrCoNiAl0.1)Ox heterojunction films. Journal of Alloys and Compounds. 2021, vol. 868, article 159108.
7. Boxman R.L., Martin P.J. and Sanders D.M. (Eds.), Handbook of Vacuum Arc Science and Technology; Noyes, New York, 1995.
8. I. Pilch, D. Soderstrom, D. Lundin, U.Helmersson. The use of highly ionized pulse plasmas for the synthesis advances thin films and nanoparticles. Kona Powder and Particle journal, 31, 2014, p. 171 – 180.

9. Aksenov I. I., Konovalov I. I., PershyV. F. About Low-Pressure Arc Cathode Erosion, Thermophysics of high temperatures, 1988, 26, 3, P. 442
10. Lafferty J.M. (Ed.), Vacuum Arcs – Theory and Application; Wiley, New York, 1980.
11. Jüttner B. Cathode spots of electric arcs // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2001. – V. 34. – R103.
12. Hantzsche E. Mysteries of the arc cathode spot: A retrospective glance // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2003. – V. 31. – P. 799–808.
13. Zhukeshov A.M., Gabdullina A.T., Amrenova A.U., FermakhanK. The pulse vacuum-arc plasma generator for nanoengineering application. // Applied Physics A: Materials Science and Processing, 2020, V. 126(9), -Iss.742 .

Сведения об авторах:

Амренова Асем Уахитовна – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры физики плазмы КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: amrenova.asem@gmail.com).

Жукешов Ануар Муратович (корреспондент-автор) – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: zhukeshov@physics.kz).

Салимов Ернар Ерланулы – постдокторант кафедры физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: salimov_ernar@mail.ru).

Абдыбай Улан Болатбекулы – докторант 2 курса кафедры физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Abdibay_ulan@mail.ru).

Пшиков Мустахим Искандирович – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: mustahim.pshikov@gmail.com).

Information about authors:

Asem Uakhitovna Amrenova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Plasma Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: amrenova.asem@gmail.com)

Anuar Muratovich Zhukeshov (corresponding-author) – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhukeshov@physics.kz)

Ernar Erlanuly Salimov – Postdoctoral Researcher at the Department of Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: salimov_ernar@mail.ru)

Ulan Bolatbekuly Abdibay – 2nd-year PhD student at the Department of Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Abdibay_ulan@mail.ru)

Mustakhim Iskandirovich Pshikov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: mustahim.pshikov@gmail.com)

Авторлар туралы мәлімет:

Амренова Эсем Уахитовна – физика-математика гылымдарының кандидаты, өл-Фараби атындағы Қазақ үлттүк университетінің плазма физикасы кафедрасының ага оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: amrenova.asem@gmail.com)

Жукешов Ануар Муратович (корреспондент-автор) – физика-математика гылымдарының докторы, өл-Фараби атындағы Қазақ үлттүк университетінің плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: zhukeshov@physics.kz)

Салимов Ернар Ерланулы – өл-Фараби атындағы Қазақ үлттүк университетінің плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының постдокторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: salimov_ernar@mail.ru)

Абдыбай Улан Болатбекулы – өл-Фараби атындағы Қазақ үлттүк университетінің плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының 2-курс докторантты (Алматы, Қазақстан, e-mail: Abdibay_ulan@mail.ru)

Пшиков Мустахим Искандировлы – физика-математика гылымдарының кандидаты, өл-Фараби атындағы Қазақ үлттүк университетінің плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының ага оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: mustahim.pshikov@gmail.com)

Поступила на рассмотрение 02.04.25

Принята 15.10.25

A. Nurulina¹ , S. Bergaliyeva¹ ,
 A. Akylbayeva¹ , D. Yerezhep^{2*} 

¹Institute of Energy and Mechanical Engineering, K.I. Satpayev
 Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan
²Technology Commercialization Center, AlmaU, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: darhan_13@physics.kz

EVOLUTION OF METHODS FOR ENSURING THE QUALITY OF TECHNICAL ACCOUNTING OF THERMAL ENERGY IN OPEN ENERGY SYSTEMS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

The article is devoted to the study of the evolution of heat meter verification methods as a key element in the system of technical accounting of thermal energy, considered in the context of open technical systems. A comparative analysis of the regulatory approaches to verification operating in the Republic of Kazakhstan has been carried out, their distinctive features and impact on metrological reliability and measurement accuracy have been identified. The necessity of adapting existing methods to changing operating conditions and technology development is substantiated, including through the introduction of artificial intelligence elements for processing and interpreting verification results. Approaches to the modernization of the verification system aimed at improving the efficiency of measuring systems integrated into open power systems are proposed. The results obtained can be used both in verification laboratories and in the development of new regulatory documents, contributing to an increase in accounting accuracy, energy efficiency and sustainability of open energy systems.

Keywords: heat meters, verification, methodology, regulatory document, verification laboratory, measuring instruments.

А. Нурулина¹, С. Бергалиева¹, А. Ақылбайева¹, Д. Ережеп^{2*}

1Энергетика және машина жасау институты, Қ.И. Сәтбаев атындағы
 Казак ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

2Технологияларды коммерцияландыру орталығы, AlmaU, Алматы, Қазақстан
 *e-mail: darhan_13@physics.kz

Қазақстан Республикасының ашық энергетикалық жүйелеріндегі жылу энергиясын техникалық есепке алу сапасын қамтамасыз ету әдістерінің өволюциясы

Мақала ашық техникалық жүйелер контекстінде қарастырылатын жылу энергиясын техникалық есепке алу жүйесіндегі негізгі элемент ретінде жылу есептегіштерін тексеру әдістерінің өволюциясын зерттеуге арналған. Қазақстан Республикасында қолданыстағы салыстырып тексерудің нормативтік тәсілдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді, олардың айрықша ерекшеліктері мен метрологиялық сенімділігі мен өлшеу дәлдігіне әсері анықталды. Қолданыстағы әдістемелерді технологияларды пайдалану мен дамытудың өзгеретін жағдайларына бейімдеу қажеттілігі, оның ішінде тексеру нәтижелерін өндөу және түсіндіру үшін жасанды интеллект элементтерін енгізу есебінен негізделген. Ашық энергия жүйелеріне біркітілген өлшеу жүйелері жұмысының тиімділігін арттыруға бағытталған тексеру жүйесін жаңғырту тәсілдері ұсынылды. Алынған нәтижелер тексеру зертханаларында да, жаңа нормативтік құжаттарды өзірлеу кезінде де пайдаланылуы мүмкін, бұл есепке алу дәлдігін, энергия тиімділігін және ашық энергетикалық жүйелердің тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: жылу есептегіштері, тексеру, әдістеме, нормативтік құжат, тексеру зертханасы, өлшеу құралдары.

А. Нурулина¹, С. Бергалиева¹, А. Акылбаева¹, Д. Ережеп^{2*}

¹Институт энергетики и машиностроения, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

²Центр коммерциализации технологий, AlmaU, Алматы, Казахстан

*e-mail: darhan_13@physics.kz

Эволюция методов обеспечения качества технического учёта тепловой энергии в открытых энергетических системах Республики Казахстан

Статья посвящена исследованию эволюции методов поверки теплосчётов как ключевого элемента в системе технического учёта тепловой энергии, рассматриваемой в контексте открытых технических систем. Проведён сравнительный анализ нормативных подходов к поверке, действующих в Республике Казахстан, выявлены их отличительные особенности и влияние на метрологическую надёжность и точность измерений. Обоснована необходимость адаптации существующих методик к изменяющимся условиям эксплуатации и развития технологий, в том числе за счёт внедрения элементов искусственного интеллекта для обработки и интерпретации результатов поверки. Предложены подходы к модернизации системы поверки, направленные на повышение эффективности работы измерительных систем, интегрированных в открытые энергосистемы. Полученные результаты могут быть использованы как в поверочных лабораториях, так и при разработке новых нормативных документов, способствуя повышению точности учёта, энергоэффективности и устойчивости открытых энергетических систем.

Ключевые слова: счетчики тепла, поверка, методика, нормативный документ, поверочная лаборатория, средства измерений.

Introduction

The modern development of Kazakhstan's energy sector is accompanied by the active implementation of technologies for monitoring and accounting of energy resources. This necessity arises from the growing demand to improve energy efficiency, reduce operational costs, and maintain transparent settlement processes between heat suppliers and consumers. A central element in achieving this is the heat meter, a device that enables precise monitoring of thermal energy usage.

The main types of heat meters include the following: mechanical, electromagnetic, and ultrasonic heat meters. Each type of heat meter has its own advantages and disadvantages, and the choice of a heat meter depends on the specific operating conditions (installation location) and heat metering requirements in each country. In Europe, ultrasonic heat meters are used, for example, in the work of G Ficco et al. The analysis of key metrological problems associated with clamping reference meters in the field verification of ultrasonic heat meters is shown. The authors further emphasize that, considering the allowable error and measurement uncertainty, field meters often struggle to fully meet metrological standards [1]. In a research paper on the evaluation of heat metering flowmeters, Choir et al. [2] investigated the metrological characteristics of all three types of thermal flowmeters in the field, showing the deviation of the mechanical and ultrasonic flowme-

ters in the range of $\pm 2.5\%$, and electromagnetic in the range of 6.9% . If we are talking about the study of systematic errors in heat accounting, Weissenbunner et al. employed computational fluid dynamics (CFD) modeling [3] to investigate systematic deviations in ultrasonic flow meters caused by uncertain inlet profiles generated by upstream disturbances, such as double elbows. Their results showed that when the meter is installed less than 40 pipe diameters downstream of a double bend, the systematic measurement error can range from 1.5% to 4.5%.

A. G. Lupey et al. considers the problems of accounting for heat energy from heat sources. The author claims that the statistical data obtained for the results of average hourly flow measurements at the entrance and exit of the heat supply system allow us to conclude that the quality of calibration of these flow meters cannot be considered satisfactory and the actual discrepancy in the calibration characteristics for this pair of flow meters is very noticeable. As a method of solving the problem, the author suggests entering measurement regulations in the state register and submitting a resolution stating that the production of flow meters should be preceded not only by laboratory tests, but also by adequate long-term commercial tests in closed heat supply systems or at the inlet and outlet of a hot water furnace (boiler, plate heat exchanger) [4].

In the EU, the use of heat meters is regulated by the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU (EED) [5], which highlights individual heat consumption

measurement as an essential means of boosting efficiency and fostering energy conservation.

A precise and equitable determination of thermal energy consumption in individual residential buildings remains a highly relevant issue, as it encompasses a wide range of technical, metrological, and consumer-related challenges [6], [7], [8]. In this context, the use of heat meters within the EU is governed by the Measuring Instruments Directive (MID) [9], which mandates that legally used measuring devices must satisfy essential metrological criteria. This implies that both the measurement error and its associated uncertainty must stay within the permissible limits defined for the corresponding measurement category.

Individual ultrasonic heat meters are not commonly used in Kazakhstan; instead, electromagnetic heat meters remain the dominant technology. To maintain the uniformity and reliability of thermal energy measurements, these meters—similar to other instruments used for resource monitoring—must undergo periodic verification. Heat meters are verified using metrological instruments in accordance with the approved verification procedures. In Kazakhstan, such verification is governed by the Law “On Ensuring the Uniformity of Measurements” [10], by Order No. 934 of the Minister of Investment and Development of December 27, 2018, which sets the rules, frequency, and certification format for verifying measuring instruments [11], as well as by methodological documents such as ST RK 2.447-2017 “Heat Meters. Methods and Means of Verification” [12] and MI 2573-2000 “Heat Meters for Water Heating Systems. Verification Procedure” [13]. Additionally, the manufacturer’s verification methods registered in the State Register are applied when the heat meter type is approved. In most cases, verification must be carried out by accredited laboratories, and meter owners are required to monitor the timing of verification. The verification of heat meters is important to ensure the accuracy of measurements and compliance with standards.

In 2024, the Law “On Thermal Energy” was enacted in Kazakhstan, becoming an important milestone in regulating and developing the national heat energy sector. The law introduces extensive reforms to address numerous longstanding issues in heat supply [14]. A major provision of the law concerns new requirements for planning and implementing thermal power projects—whether related to construction, reconstruction, modernization, or the installation and integration of equipment into centralized or lo-

cal heat supply systems. According to the law, such projects must comply with heat supply development schemes and provide for the use of fuel appropriate to the specific system and location. They also need to include measures or technologies aimed at saving energy, improving efficiency, and reducing thermal energy losses during generation, transportation, and consumption, including solutions based on energy-efficient technologies, renewable energy sources, and other modern energy systems.

However, despite the widespread use of heat meters in the country, the issues of ensuring their accuracy and reliability remain relevant. Verification of heat meters is a mandatory process aimed at confirming the compliance of metrological characteristics with established standards and regulatory requirements. A properly functioning verification process is important for guaranteeing consistent measurements, protecting consumers, and meeting the legal standards defined in the legislation of the Republic of Kazakhstan.

At present, heat meter verification in Kazakhstan is often carried out according to broad international recommendations, which may fail to account for the particular climatic, technical, and operational features of the local environment. This requires the development of an adapted and optimized methodology that takes into account the specifics of the country’s heating network, the structure of heat energy consumption and the available infrastructure of verification laboratories.

The purpose of this study is to analyze the existing methods of heat meter verification, identify their shortcomings in practice and possible solutions.

Materials and methods

In this paper, two regulatory documents on the verification of heat meters will be considered. The first regulatory document is ST RK 2.447-2017 – “Heat Meters. Methods and Means of Verification”. It was chosen because it is the national standard of the Republic of Kazakhstan for the verification of heat meters. The second regulatory document is MI 2573-2000 – “Heat Meters for Water Heating Systems. Verification Procedure. General Provisions”. This regulatory document, like the national standard, is widely used and applied in verification laboratories for the verification of heat meters.

The above verification methods are compared according to important characteristics in the field

of ensuring the uniformity of measurements. These characteristics encompass:

- the organization or specialists responsible for developing the verification methodology;
- the scope and area of its applicability;
- the circumstances and conditions under which the methodology is used;
- the verification documents and techniques that served as the basis for its development;
- the sequence of verification operations;
- the measuring equipment required for performing verification;
- the qualification criteria established for verification personnel;
- types of verification of heat meters used in the methodology;
- verification conditions;
- the verification interval;
- safety requirements;
- external inspection;
- testing;
- complete verification. Error detection;
- piecemeal verification. Error detection;
- estimation of heat meter uncertainty;
- registration of the verification results.

These characteristics were selected for comparison in compliance with ST RK 2.63-2018 – “Methods of Verification of Measuring Instruments. The Procedure of Development, Approval and Application” [15].

Results and discussion

In the Russian Federation, the verification of heat meters is regulated by the Federal Law “On Ensuring the Uniformity of Measurements”, PR 50.2.006-94 “The State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. The Procedure for Verification of Measuring Instruments” [16], and regulatory documents endorsed on the basis of tests carried out for the approval of the measuring instrument type.

According to the decision of the State Standard of the Russian Federation, the right to verify measuring instruments may be granted to accredited metrological services of legal entities. The activities of these metrological services are carried out in accordance with the current legislation and regulatory documents on ensuring the uniformity of measurements of the State Standard of the Russian Federation. Verification activities carried out by accredited

metrological services of legal entities are controlled by the State Metrological Service authorities at the location of these legal entities. The frequency of testing depends on the model of the device and is determined by the manufacturer. It usually ranges from 4 to 10 years. The exact date is indicated in the passport of the device, a note is also made there about the next verification, an additional act is drawn up and a certificate of verification is issued.

The verification process may vary in other countries. In the countries of the European Union, there are strict rules governing the inspection and certification of measuring instruments. It also uses a general Directive designed to harmonize legislation across the EU in relation to a range of measuring devices, including heat meters [17].

In the USA, verification may be less formalized, but it also requires verification of accuracy in accordance with local standards. There is only the A2LA accreditation organization, which conducts laboratory accreditation and verifies all the procedures used in the work, reflected in the Quality Assurance manual – this is a well-considered and not entirely public thing in which calibration methods can be found.

In France, accreditation is very expensive, and enterprises prefer not to have their own laboratories, but to send all the instruments to be verified to specialized metrological centers, or specialists specially commissioned from these centers are engaged in verification.

In Kazakhstan, the regulatory framework for the verification of heat energy meters is ST RK 2.447-2017 and MI 2573-2000 including steps illustrated in Figure 1.

A comparative analysis of the heat meter verification methods presented in Table 1 showed that the main differences between these regulatory documents are in references to the relevant standards and regulatory documents of each country. Since when using MI 2573-2000, there are legal difficulties in using reference normative legal documents that are not legally binding across the territory of the Republic of Kazakhstan. It should be noted that the general approaches to methods and means of checking heat meters remain similar, reflecting international practice in the field of metrology. In turn, the verification procedure described in ST RK 2.447-2017 was developed on the basis of verification methods that cover a limited number of types of heat meters.

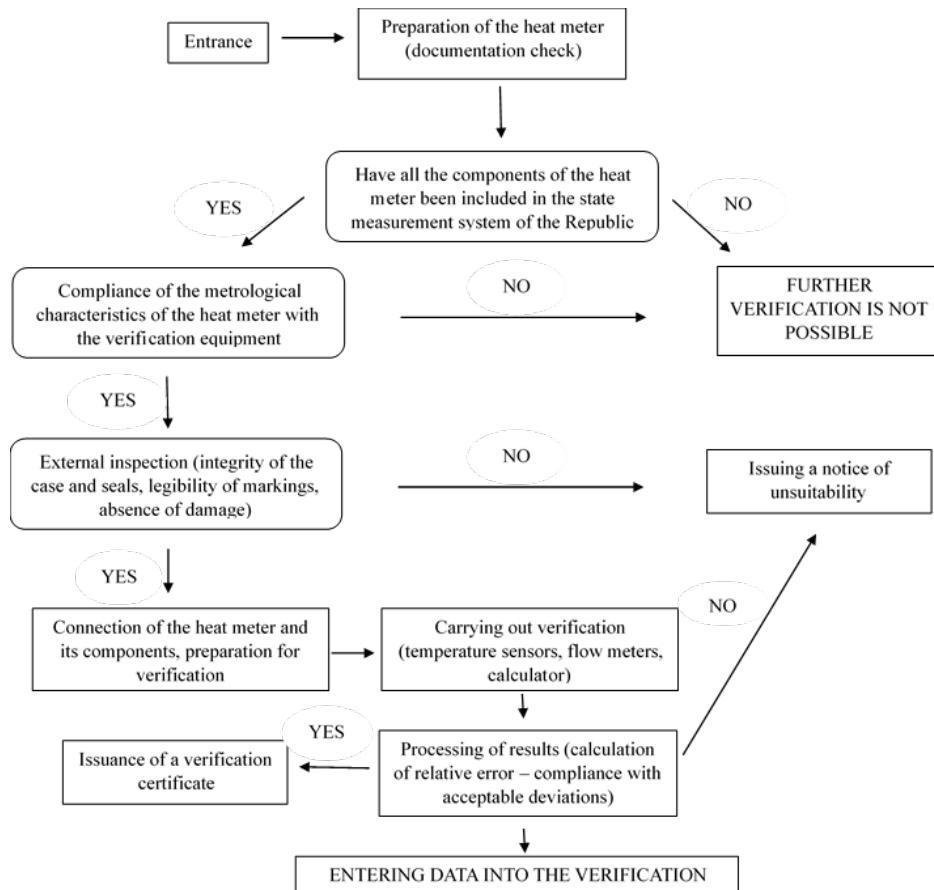


Figure 1 – Verification procedure of heat energy meters in the Republic of Kazakhstan

Table 1 – Comparative analysis of heat meter verification methods prescribed in ST RK 2.447-2017 and MI 2573-2000

Comparative characteristics	ST RK 2.447-2017 – Heat Meters. Verification Methods and Tools	MI 2573-2000 – Heat Meters for Water Heating Systems. Verification Procedure. General Provisions
1. Who developed the verification procedure?	“KazInMetr”, KTRM of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan	D.I. Mendeleev VNIIM and VNIIMS of the State Standard of Russia and TC 206 “Standards and verification schemes”
2. Scope of distribution	Heat meters	Heat meters
3. When it is applied	During the initial and periodic verification of heat meters	During the initial and periodic verification of heat meters
4. On the basis of which verification techniques, the methodology was developed	1) “KM-5 heat meters. Verification procedure”; 2) “Heat meters QALCOMETHEAT1. Verification procedure”; 3) “GSI. KST-22 heat meters. Verification procedure IVKA.407281.004 MP”; “GSI. PRAMER heat meters-HEAT. The method of verification of the CCP.30.0000.000.00 MP”	-
5. Verification operations	<ul style="list-style-type: none"> • External inspection • Testing • Determination of the heat meter error • Registration of verification results 	<ul style="list-style-type: none"> • External inspection; • testing; • determination of the heat meter error • comparison of the obtained error values with the limits of the allowed error; • registration of verification results.

6. Measuring instruments for verification	<ul style="list-style-type: none"> - reference heat meter; - flow meter calibration unit, reproducible flow range from 0.005 m³/h to 800 m³/h; - resistance stores, the range of electrical resistance values from 0.001 ohms to 111111.10 ohms; - platinum exemplary resistance thermometer, measuring range from 0 to 250 °C; - liquid thermostats for creating temperatures in the range from 0 to 200 °C; - multi-function calibrator, playback ranges: <ol style="list-style-type: none"> 1) DC power from 0 mA to 24 mA; 2) Pulse repetition rates from 5 Hz to 1000000 Hz; 3) the number of pulses in a packet from 1 pulse to 5x10 pulses; 4) time interval from 1000 microseconds to 6x10 microseconds; - DC power supply, output voltage from 0 to 30 V, output current from 0 to 3 A; - aspiration psychrometer, measuring range from minus 25 °C to 50 °C; - aneroid barometer, measuring range (610-790) mmHg. - mercury glass thermometer, measuring range from 0 to 50 °C. 	Working standards, auxiliary SI, auxiliary equipment specified in the ED or ND verification.
7. Qualification requirements for verifiers	Certification as verifiers in accordance with ST RK 2.45	The qualifications of the verifiers must comply with the requirements of PR 50.2.012-94.
8. Types of verification of heat meters	Comprehensive, piecemeal	Comprehensive, piecemeal
9. Verification conditions	Normal conditions according to GOST 8.395	Normal conditions according to GOST 8.395
10. The verification interval	It is established for each type of heat meters when approving the type of measuring instruments or their metrological certification.	According to the test results for type approval purposes
11. Safety requirements	In accordance with the Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan "On approval of Safety Regulations for the operation of electrical installations of consumers", as well as those specified in the ND and ED on SI	In accordance with the "Safety rules for the operation of electrical installations of consumers", "Rules for the technical operation of electrical installations of consumers", as well as those specified in the ND and ED on SI
12. External inspection	The completeness of the heat meters to the ED requirements, the presence of seals, the absence of defects that prevent the reading of labels, markings and scale counting	The completeness of the heat meters to the ED requirements, the presence of seals, the absence of defects that prevent the reading of labels, markings and scale counting
13. Testing	<ol style="list-style-type: none"> 1) With complete verification, the functioning of the heat meter; 2) in case of piecemeal operation, the functioning of the components, as well as the heat meter as a whole, and the response to input signals in accordance with the ED 	<ol style="list-style-type: none"> 1) With complete verification, the functioning of the heat meter; 2) in case of piecemeal operation – the functioning of the components, as well as the heat meter as a whole, responding to input signals in accordance with the ND
14. Complete verification. Error detection	By the method of direct comparison of a verifiable heat meter with a reference installation or with a reference heat meter.	The error of each measuring channel is determined and compared with the margin of error set for the channel being tested for the type of heat meter being tested.
14.1 Determination of the error in measuring the amount of heat	<ol style="list-style-type: none"> 1. For heat meters that include one flow converter: <ol style="list-style-type: none"> 1) $\Delta t_{min} \leq \Delta t \leq 1,2\Delta t_{min}$; 2) $10^{\circ}C \leq \Delta t \leq 20^{\circ}C$; 3) $(\Delta t_{max} - 5^{\circ}C) \leq \Delta t \leq \Delta t_{max}$; 4) $0,9G_{max} \leq G \leq G_{max}$; 5) $G_{nom} \leq G \leq 1,1G_{nom}$; 6) $G_{min} \leq G \leq 1,1G_{min}$. 2. For heat meters, one flow converter is 	<ol style="list-style-type: none"> 1. For heat meters that include one flow converter: <ol style="list-style-type: none"> 1) $\Delta t_{min} \leq \Delta t \leq 1,2\Delta t_{min}$; 2) $10^{\circ}C \leq \Delta t \leq 20^{\circ}C$; 3) $(\Delta t_{max} - 5^{\circ}C) \leq \Delta t \leq \Delta t_{max}$; 4) $0,9G_{max} \leq G \leq G_{max}$; 5) $G_{nep} \leq G \leq 1,1G_{nep}$; 6) $G_{min} \leq G \leq 1,1G_{min}$. 2. For heat meters, one flow converter is

	<p>located in the supply line and the other in the return line.:</p> <p>1) $\Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq 1,2\Delta t_{\min}$; $0,9G1_{\max} \leq G1 \leq G1_{\max}$; $G2_{\min} \leq G2 \leq 1,1G2_{\min}$;</p> <p>2) $10^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 20^{\circ}\text{C}$; $G1 \geq 1,5G2_{\text{nom}}$; $G2_{\text{nom}} \leq G2 \leq 1,1G2_{\text{nom}}$;</p> <p>3) $(\Delta t_{\max} - 5^{\circ}\text{C}) \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}$; $G1 = G2_{\min} + \Delta G_{\min}$; $G2_{\min} \leq G2 \leq 1,1G2_{\min}$.</p> <p>3. When a verifiable heat meter is directly compared with a working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_Q = \frac{Q_{ij} - Q_{\varphi ij}}{Q_{\varphi ij}} \times 100\%$	<p>located in the supply line and the other in the return line.:</p> <p>1) $\Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq 1,2\Delta t_{\min}$; $0,9G1_{\max} \leq G1 \leq G1_{\max}$; $G2_{\min} \leq G2 \leq 1,1G2_{\min}$;</p> <p>2) $10^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 20^{\circ}\text{C}$; $G1 \geq 1,5G2_{\text{nep}}$; $G2_{\text{nep}} \leq G2 \leq 1,1G2_{\text{nep}}$;</p> <p>3) $(\Delta t_{\max} - 5^{\circ}\text{C}) \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}$; $G1 = G2_{\min} + \Delta G_{\min}$; $G2_{\min} \leq G2 \leq 1,1G2_{\min}$.</p> <p>3. When a verifiable heat meter is directly compared with a working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_Q = \frac{Q_{ij} - Q_{\varphi ij}}{Q_{\varphi ij}} \times 100\%$
14.2 Determination of the heat meter error when measuring heat flow	<p>1. and 2. in accordance with paragraph 14.1 when the verifiable heat meter is directly compared with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_{\Phi} = \frac{\Phi_{ij} - \Phi_{\varphi ij}}{\Phi_{\varphi ij}} \times 100\%$	<p>1. and 2. in accordance with paragraph 14.1 when the verifiable heat meter is directly compared with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_{\Phi} = \frac{\Phi_{ij} - \Phi_{\varphi ij}}{\Phi_{\varphi ij}} \times 100\%$
14.3 Error Determination of a Heat Meter During Coolant Mass Measurement	<p>1. and 2. in accordance with paragraph 14.1</p> <p>3. When directly comparing the verified heat meter with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_M = \frac{M_{ij} - M_{\varphi ij}}{M_{\varphi ij}} \times 100\%$	<p>1. and 2. in accordance with paragraph 14.1</p> <p>3. When directly comparing the verified heat meter with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_M = \frac{M_{ij} - M_{\varphi ij}}{M_{\varphi ij}} \times 100\%$
14.4 Determination of the error of the heat meter when measuring the temperature of the coolant	<p>1. in accordance with paragraph 14.1</p> <p>2. When directly comparing the verified heat meter with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_T = \frac{T_{ij} - T_{\varphi ij}}{T_{\varphi ij}} \times 100\%$ <p>3. The relative error introduced by the heat meter during temperature difference measurement of the coolant in the supply and return pipelines is calculated by performing three measurements in each mode, using the formula:</p> $\delta_{\Delta T} = \frac{\Delta T_{ij} - \Delta T_{\varphi ij}}{\Delta T_{\varphi ij}} \times 100\%$	<p>1. in accordance with paragraph 14.1</p> <p>2. When directly comparing the verified heat meter with the working standard, three measurements are performed in each mode:</p> $\delta_T = \frac{T_{ij} - T_{\varphi ij}}{T_{\varphi ij}} \times 100\%$ <p>3. The relative error introduced by the heat meter during temperature difference measurement of the coolant in the supply and return pipelines is calculated by performing three measurements in each mode, using the formula:</p> $\delta_{\Delta T} = \frac{\Delta T_{ij} - \Delta T_{\varphi ij}}{\Delta T_{\varphi ij}} \times 100\%$
14.5 Determination of the heat meter error during time measurements	<p>The error of the heat meter in measuring time is determined if the metrological characteristics are normalized for them, according to which the error of the heat meters can be determined.</p>	<p>The determination of the error of the heat meter when measuring time is carried out according to the ND by checking specific types of heat meters.</p>
15. Piecemeal verification. Error detection	<p>During piecemeal verification, the error of each component of the heat meter is determined.</p> <p>The error of the components of the heat meter is determined if the metrological characteristics are normalized for them, according to which the error of the heat meter can be determined.</p>	<p>During piecemeal verification, the error of each component of the heat meter is determined.</p> <p>The error of the components of the heat meter is determined if the metrological characteristics are normalized for them, according to which the error of the heat meter can be determined.</p>
15.1 Verification of flow converters (meters)	<p>1. Verification of flow converters (meters), depending on their design, is performed in accordance with the requirements of ED heat meters by means of a working standard or simulation devices.</p> <p>2. Verification is performed by output signals (for example, by electric current, frequency). The average verification time for expenses from G_m to G_{\max} should be at least five minutes, and for expenses from G_{nom} to G_{\max} at least twenty minutes.</p> <p>3. For a flow converter with an output frequency signal, the minimum number of N_{\min} pulses recorded during measurements in a given flow mode:</p>	<p>1. Verification of flow converters (meters), depending on their design, is performed in accordance with the requirements of ED heat meters by means of a working standard or simulation devices.</p> <p>2. Verification is performed by output signals (for example, by electric current, frequency). The average verification time for expenses from G_m to G_{\max} should be at least five minutes, and for expenses from G_{nom} to G_{\max} at least twenty minutes.</p> <p>3. For a flow converter with an output frequency signal, the minimum number of N_{\min} pulses recorded during measurements in a given flow mode:</p>

	$N_{min} \geq \frac{300}{\delta_{np}}$ <p>4. The relative error of the flow converter is calculated: - for the flow rate of the coolant δG according to the formula: $\delta G = \frac{G_j - G_{\vartheta j}}{G_{\vartheta j}} \times 100\%$ - for the volume of the coolant δV: $\delta V = \frac{V_j - V_{\vartheta j}}{V_{\vartheta j}} \times 100\%,$ where G_j is the reference flow value in the jth mode: $G_{\vartheta j} = \frac{V_{\vartheta j}}{t} \times \rho$</p>	$N_{min} \geq \frac{300}{\delta_{np}}$ <p>4. The relative error of the flow converter is calculated: - for the flow rate of the coolant δG according to the formula: $\delta G = \frac{G_j - G_{\vartheta j}}{G_{\vartheta j}} \times 100\%$ - for the volume of the coolant δV: $\delta V = \frac{V_j - V_{\vartheta j}}{V_{\vartheta j}} \times 100\%,$ where G_j is the reference flow value in the jth mode: $G_{\vartheta j} = \frac{V_{\vartheta j}}{t} \times \rho$</p>
15.1 Verification of flow converters (meters)	<p>1. Verification of flow converters (meters), depending on their design, is performed in accordance with the requirements of ED heat meters by means of a working standard or simulation devices.</p> <p>2. Verification is performed by output signals (for example, by electric current, frequency). The average verification time for expenses from G_{nom} to G_{max} should be at least five minutes, and for expenses from G_m to G_m at least twenty minutes.</p> <p>3. For a flow converter with an output frequency signal, the minimum number of N_{min} pulses recorded during measurements in a given flow mode:</p> $N_{min} \geq \frac{300}{\delta_{np}}$ <p>4. The relative error of the flow converter is calculated: - for the flow rate of the coolant δG according to the formula: $\delta G = \frac{G_j - G_{\vartheta j}}{G_{\vartheta j}} \times 100\%$ - for the volume of the coolant δV: $\delta V = \frac{V_j - V_{\vartheta j}}{V_{\vartheta j}} \times 100\%,$ where G_j is the reference flow value in the jth mode: $G_{\vartheta j} = \frac{V_{\vartheta j}}{t} \times \rho$</p> <p>5. When checking a pair of flow converters, three measurements are performed in each mode of paragraph 14.1.2. Then the converters' relative errors are calculated for the measurement of the flow difference: $\delta_{AG} = \frac{\Delta G_i - \Delta G_{\vartheta i}}{\Delta G_{\vartheta i}} \times 100\%$</p> <p>6. During verification of the measuring channel (thermal calculator – HC) for volume (mass) measurement, resistance standards simulating the temperature sensors are applied. Their resistance values are set to create simulated coolant temperatures producing a temperature difference between 10°C and 20°C. The values of the coolant flow modes are selected according to clause 14.1.</p> <p>7. Verification of the measuring channel intended for measuring volume (mass) is performed according to the readings of the digital HC display board or according to the readings of the output coded signal (RS232</p>	<p>1. Verification of flow converters (meters), depending on their design, is performed in accordance with the requirements of ED heat meters by means of a working standard or simulation devices.</p> <p>2. Verification is performed by output signals (for example, by electric current, frequency). The average verification time for expenses from G_{nom} to G_{max} should be at least five minutes, and for expenses from G_m to G_m at least twenty minutes.</p> <p>3. For a flow converter with an output frequency signal, the minimum number of N_{min} pulses recorded during measurements in a given flow mode:</p> $N_{min} \geq \frac{300}{\delta_{np}}$ <p>4. The relative error of the flow converter is calculated: - for the flow rate of the coolant δG according to the formula: $\delta G = \frac{G_j - G_{\vartheta j}}{G_{\vartheta j}} \times 100\%$ - for the volume of the coolant δV: $\delta V = \frac{V_j - V_{\vartheta j}}{V_{\vartheta j}} \times 100\%,$ where G_j is the reference flow value in the jth mode: $G_{\vartheta j} = \frac{V_{\vartheta j}}{t} \times \rho$</p> <p>5. When checking a pair of flow converters, three measurements are performed in each mode of paragraph 14.1.2. Then the relative errors of the converters are calculated when measuring the flow difference: $\delta_{AG} = \frac{\Delta G_i - \Delta G_{\vartheta i}}{\Delta G_{\vartheta i}} \times 100\%$</p> <p>6. When checking the measuring channel (thermal calculator – HC), designed for measuring volume (mass), resistance stores are connected to the HC, which simulate the vehicle. The resistance values are selected so that they simulate the temperature of the coolant in the temperature difference range of $10^{\circ}\text{C} \leq \Delta t \leq 20^{\circ}\text{C}$. The values of the coolant flow modes are selected according to clause 14.1.</p> <p>7. Verification of the measuring channel intended for measuring volume (mass) is performed according to the readings of the digital HC display board or according to the</p>

	<p>interface) in line with the requirements of the ED.</p> <p>8. The relative error of the measuring channel intended for measuring volume (mass) δM and δV is estimated by performing three measurements in each flow mode:</p> $\delta V = \frac{V_{ij} - V_{\vartheta ij}}{V_{\vartheta ij}} \times 100\%$ $\delta M = \frac{M_{ij} - M_{\vartheta ij}}{M_{\vartheta ij}} \times 100\%$	<p>readings of the output coded signal (RS232 interface) in accordance with the requirements of the ED.</p> <p>8. The relative error of the measuring channel intended for measuring volume (mass) δM and δV is estimated by performing three measurements in each flow mode:</p> $\delta V = \frac{V_{ij} - V_{\vartheta ij}}{V_{\vartheta ij}} \times 100\%$ $\delta M = \frac{M_{ij} - M_{\vartheta ij}}{M_{\vartheta ij}} \times 100\%$
<p>15.2 Verification of thermal resistance converters</p>	<p>1. Vehicle verification in accordance with the requirements GOST 8.461.</p> <p>2. When a pair of vehicles is selected (for example, KTSPR-a set of platinum vehicles for measuring temperature differences, KTPTR-a set of platinum technical difference thermometers), each vehicle is verified in accordance with the requirements of GOST 8.461.</p> <p>3. Verification of thermostable resistors, cold water temperature simulators, is performed in accordance with the requirements of this standard.</p> <p>4. When checking the measuring channel (HM-HC) intended for temperature measurements, the mode values are selected according to clause 14.1.</p> <p>5. The verification of the measuring channel (HM-HC) is performed according to the readings of the digital display board of the TV or according to the readings of the output coded signal (RS 232 interface) in accordance with the requirements of the ED.</p> <p>6. The relative error of the measuring channel (HM-HC) δT is estimated by performing three measurements in each mode:</p> $\delta T = \frac{T_{ij} - T_{\vartheta ij}}{T_{\vartheta ij}} \times 100\%$	<p>1. Vehicle verification in accordance with the requirements GOST 8.461-82.</p> <p>2. When a pair of vehicles is selected (for example, KTSPR-a set of platinum vehicles for measuring temperature differences, KTPTR-a set of platinum technical difference thermometers), each vehicle is verified in accordance with the requirements of GOST 8.461-82.</p> <p>3. Verification of thermostable resistors, cold water temperature simulators, is performed in accordance with the requirements of this standard.</p> <p>4. When checking the measuring channel (HM-HC) intended for temperature measurements, the mode values are selected according to clause 14.1.</p> <p>5. The verification of the measuring channel (HM-HC) is performed according to the readings of the digital display board of the TV or according to the readings of the output coded signal (RS 232 interface) in accordance with the requirements of the ED.</p> <p>6. The relative error of the measuring channel (HM-HC) δT is estimated by performing three measurements in each mode:</p> $\delta T = \frac{T_{ij} - T_{\vartheta ij}}{T_{\vartheta ij}} \times 100\%$
<p>15.3 Determination of the HC error when converting the coolant pressure</p>	<p>At the specified points in the pressure measurement range, three measurements are performed and the relative error HC is calculated when determining the coolant pressure δ_{BP}:</p> $\delta_{BP} = \frac{P_{ij} - P_{\vartheta ij}}{P_{\vartheta ij}} \times 100\%$	<p>At the specified points in the pressure measurement range, three measurements are performed and the relative error HC is calculated when determining the pressure of the coolant δ_{BP}:</p> $\delta_{BP} = \frac{P_{ij} - P_{\vartheta ij}}{P_{\vartheta ij}} \times 100\%$
<p>15.4 Determination of the HC error during conversion and calculation of volume (mass) the heat carrier</p>	<p>1. Resistance stores are connected to the TV. The modes for temperature must comply with clause 14.1.2.</p> <p>2. Three volume measurements are performed for each mode, followed by an estimation of the HC's relative error in coolant volume determination δ_{BV}:</p> $\delta_{BV} = \frac{V_{ij} - V_{\vartheta ij}}{V_{\vartheta ij}} \times 100\%$ <p>3. In each mode, three mass determinations are performed and the relative error of the TV is estimated when determining the mass δ_{BM} of the coolant:</p> $\delta_{BM} = \frac{M_{ij} - M_{\vartheta ij}}{M_{\vartheta ij}} \times 100\%,$ <p>where $M_{Eij-i-e}$ is the value of the simulated mass in the jth mode, indicated in the ND or calculated by the formula:</p> $M_{Eij} = V_{Eij} \times \rho,$	<p>1. Resistance stores are connected to the TV. The modes for temperature must comply with clause 14.1.2.</p> <p>2. For each mode, three volume determinations are performed and the relative error of the HC is estimated when determining the volume of the coolant δ_{BV}:</p> $\delta_{BV} = \frac{V_{ij} - V_{\vartheta ij}}{V_{\vartheta ij}} \times 100\%$ <p>4. In each mode, three mass determinations are performed and the relative error of the TV is estimated when determining the mass δ_{BM} of the coolant:</p> $\delta_{BM} = \frac{M_{ij} - M_{\vartheta ij}}{M_{\vartheta ij}} \times 100\%,$ <p>where $M_{Eij-i-e}$ is the value of the simulated mass in the jth mode, indicated in the ND or calculated by the formula:</p> $M_{Eij} = V_{Eij} \times \rho,$

	<p>where ρ is the density of the coolant.</p> <p>ρ at the appropriate values of temperature and pressure is determined according to the tables of the GSSD 98-86. If the error of the verified HC is commensurate with the error in determining the density of the coolant according to the above tables, then the equations given in MI 2412 are used to determine the density.</p>	<p>where ρ is the density of the coolant.</p> <p>ρ at the appropriate values of temperature and pressure is determined according to the tables of the GSSD 98-86. If the error of the verified HC is commensurate with the error in determining the density of the coolant according to the above tables, then the equations given in MI 2412-97 [18] are used to determine the density.</p>
15.5 Determination of the HC error during conversion and calculation of the amount of heat and heat flow	<p>1 –</p> <p>2 –</p> <p>3. The minimum value of the amount of heat Q_{\min} recorded during the measurement in the set mode when checking the TV:</p> $Q_{\min} \geq \frac{300 \times Q_{\text{п.мл.разр.}}}{\delta_{BQ}}$ <p>4. The relative error of the HC in determining the amount of heat δ_{BQ} is estimated by the formula:</p> $\delta_{BQ} = \frac{Q_{ij} - Q_{\varTheta ij}}{Q_{\varTheta ij}} \times 100\%$ <p>5. The value of the amount of heat Q_{\varTheta}, calculated over the time interval t for a verifiable heat meter consisting of a flow converter and two thermal converters:</p> $Q_{\varTheta} = M \times (h_1 - h_2)$ <p>where h_1 and h_2 are the coolant enthalpy values in the supply and return pipelines according to MI 2412-97.</p> <p>6. The heat amount Q_e, computed for the time interval t for a heat meter comprising two flow converters and two thermal converters, is determined by:</p> $Q_e = M_1 \times h_1 - M_2 \times h_2$ <p>7. If the composition of the verified heat meter includes thermostable resistors – cold water simulators (or set by the HC program), Q_{\varTheta}:</p> $Q_{\varTheta} = M_1 \times (h_1 - h_x) - M_2 \times (h_2 - h_x)$ <p>where h_x is the enthalpy of cold water.</p> <p>8. In each mode specified in clauses 14.1.1, 14.1.2, three heat flux determinations are performed and the relative errors of the HC in determining the heat flux $\delta_{B\Phi}$ are estimated.: $\delta_{B\Phi} = \frac{\Phi_{ij} - \Phi_{\varTheta ij}}{\Phi_{\varTheta ij}} \times 100\%$</p>	<p>1. Electrical signals are applied to the input of the calculator, simulating the flow rate, volume, temperature and pressure of the coolant.</p> <p>2. In each mode specified in clauses 14.1.1 and 14.1.2, three determinations of the amount of heat are performed, and the errors of the HC in determining the amount of heat are estimated depending on the completeness of the heat meter and the method of measuring the amount of heat.</p> <p>3. The minimum value of the amount of heat Q_{\min} recorded during the measurement in the set mode during HC verification procedures:</p> $Q_{\min} \geq \frac{300 \times Q_{\text{п.мл.разр.}}}{\delta_{BQ}}$ <p>4. The relative error δ_{BQ} of the HC in calculating the heat quantity is obtained from the formula:</p> $\delta_{BQ} = \frac{Q_{ij} - Q_{\varTheta ij}}{Q_{\varTheta ij}} \times 100\%$ <p>5. The value of the amount of heat Q_{\varTheta}, calculated over the time interval t for a verifiable heat meter consisting of a flow converter and two thermal converters:</p> $Q_{\varTheta} = M \times (h_1 - h_2)$ <p>where h_1, h_2 are the enthalpy of the coolant in the supply and return pipelines according to MI 2412-97</p> <p>6. The value of the amount of heat Q_{\varTheta}, calculated over the time interval t for a verifiable heat meter consisting of two flow converters and two thermal converters:</p> $Q_{\varTheta} = M_1 \times h_1 - M_2 \times h_2$ <p>7. If the composition of the verified heat meter includes thermostable resistors – cold water simulators (or set by the HC program), Q_{\varTheta}:</p> $Q_{\varTheta} = M_1 \times (h_1 - h_x) - M_2 \times (h_2 - h_x)$ <p>where h_x is the enthalpy of cold water.</p> <p>8. In each mode specified in clauses 14.1.1, 14.1.2, three heat flux determinations are performed and the relative errors of the HC in determining the heat flux $\delta_{B\Phi}$ are estimated.: $\delta_{B\Phi} = \frac{\Phi_{ij} - \Phi_{\varTheta ij}}{\Phi_{\varTheta ij}} \times 100\%$</p>
15.6 Determination of HC error when measuring time	<p>They are performed if metrological characteristics are normalized for them, according to which the error of heat calculators can be determined.</p>	<p>They perform the ND according to the verification of specific HC sets.</p>
15.7 Estimation of heat meter uncertainty	<p>1. Carried out at the request of the applicants in accordance with the Guidelines on the expression of measurement uncertainty, Mendeleev VNIIM, St. Petersburg, 1999 and RMG 43.</p> <p>2. The algorithm for calculating the uncertainty</p>	-

	of measurements of the heat meter can be issued in the form of a report on the uncertainty of the measured value, the recommended form of which is given in appendix B.	
Registration of verification results	<p>1. The measurement results obtained during verification are recorded in the protocol, the form (mandatory) of which is given in Appendix A.</p> <p>2. If the verification results are positive, a verification certificate is issued in accordance with the form given in ST RK 2.4 and an impression of the verification stamp (label) is applied to the measuring instrument in accordance with [19].</p> <p>3. Seals with an impression of the verification stamp are placed in places that prevent access to the adjustment elements, the sealing places must comply with the requirements of the technical documentation.</p> <p>4. In case of negative verification results, the heat meter is not allowed to be used and a notice of unsuitability is issued in accordance with the form given in ST RK 2.4.</p>	<p>1. The verification results are recorded in the verification protocol.</p> <p>2. If the heat meter is recognized as suitable for use based on the verification results, then an impression of the verification stamp is applied to it and (or) the technical documentation and (or) a "Certificate of verification" is issued (the form of the "Certificate of Verification" is given in PR 50.2.006-94).</p> <p>3. Seals with an impression of the verification stamp in accordance with the requirements of PR 50.2.007-94 are placed in places that prevent access to the adjustment elements. The sealing sites must meet the requirements technical documentation.</p> <p>4. If the heat meter is found unsuitable for use based on the verification results, the impression of the verification stamp is extinguished, the "Verification certificate" is canceled, a "Notice of unsuitability" is issued in accordance with PR 50.2.006-94 or an appropriate entry is made in the technical documentation.</p> <p>5. In case of negative verification results of heat meters, upon their release from production, they are returned to the manufacturer to eliminate defects with the possibility of being presented for re-verification.</p>

After conducting a comparative analysis of the existing methods of checking heat meters, the following conclusions and recommendations can be drawn.

1. The National standard of the Republic of Kazakhstan takes into account all the features of the legislation of the Republic of Kazakhstan. While the MI conforms to the applicable legislation of the Russian Federation. Despite this, MI is allowed to be used, and is also actively used in verification laboratories in the territory of the Republic of Kazakhstan.

2. ST RK was developed on the basis of various methods of checking heat meters – "KM-5 Heat Meters. Verification Procedure"; "Heat Meters QALCOMETHEAT1. Verification Procedure"; "GSI. KST-22 Heat Meters. Verification Procedure IVKA.407281.004 MP"; "GSI. PRAMER Heat Meters-HEAT. The Method of Verification of the CCP.30.0000.000.00 MP", which do not reflect the entire range of meters manufactured in the Republic of Kazakhstan.

Therefore, there is a need to develop a national standard based on existing verification methods, covering all types of heat meters.

3. It is recommended to make changes and the supplementary amendments to the relevant national standard of the Republic of Kazakhstan due to the fact that the standard was issued in 2017 and was supposed to be revised in 2022, but there has been no revision of the standard for three years, and we also believe that there is no need to list measuring instruments that are not used in verification laboratories. However, there is a need to supplement the measuring instruments necessary to perform verification operations for heat meters with various modifications.

The measuring instruments listed in the national standard of the Republic of Kazakhstan for the verification of heat meters are mainly used for verification on non-automated installations, manually, without the use of information technology. In practice, in Kazakhstan, reference heat meters are not used when checking the heat

meter. Their role is performed by automated installations with reference flow meters. The heat meter is checked using pulse generators, or using software built into the heat meter itself. Psychrometers are not used in calibration laboratories on the territory of the Republic of Kazakhstan to measure humidity and temperature, mainly VIT-1 psychrometric hygrometers with a range of readings (0-25)°C, with a scale division price of $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. The range of reproducible costs in the verification installation in the note to the "Verification tools" table could be left to the user's choice of methodology, since not every verification laboratory needs such a measurement range, it all depends on the scope of accreditation, as well as on the demand for verification of heat meters with different costs, mainly in the Republic of Kazakhstan – this is DN 15 and DN 32. In this case, it is sufficient to cover the measurement range of 1:3 expenses (the ratio of the standard expenses to the verified heat meter). Also in the note to the "Verification tools" table there is the following point – all verification tools must be verified and have valid verification certificates and/or impressions of verification stamps. Since 2019, due to changes in the legislation of the Republic of Kazakhstan "On Ensuring the Uniformity of Measurements", this note can be interpreted as follows. Since the verification tools are located and used in the verification laboratory, all verification tools must be calibrated and have valid calibration certificates.

The MI does not limit the measuring instruments used for verification. However, according to ST RK 2.63-2018 – "Methods of Verification of Measuring Instruments. The Procedure for Development, Approval and Application", in Kazakhstan, when developing a verification methodology, it is necessary to specify the measuring instruments used for verification.

4. The requirements for the qualifications of verifiers in the two regulatory documents are different. According to the requirements of ST RK 2.45, candidates holding a higher technical degree may be certified as verifiers even without prior professional experience in ensuring measurement uniformity. In contrast, individuals with non-technical higher education or secondary technical education must demonstrate at least two years of relevant work experience. Meanwhile, PR50.2.012-94 allows the attestation commission to admit, without additional specialized training, graduates

of higher education institutions in metrology and measurement engineering who already possess practical experience in verification departments.

In Kazakhstan, when certifying verifiers, they are guided by the national standard and rules for certifying verifiers, therefore, the requirements described in the MI are not suitable for the Republic of Kazakhstan.

5. In the ST RK framework, verification intervals are defined individually for each heat meter type during its type approval or metrological certification, while in the MI system they are established from the test outcomes obtained for type-approval assessment. But in Kazakhstan, there are rules of the Committee for Technical Regulation and Metrology on the establishment of a single verification interval – Order No. 159-od "On Approval of a Single Verification Interval for Heat Meters" dated 05/12/2020, according to which a single verification interval of 4 years is established for heat meters.

Therefore, it is necessary to amend the national standard ST RK 2.447 in accordance with the KTRM Order dated 05/12/2020, because starting from this date there is a single verification interval for heat meters, since manufacturers set the verification interval according to this order when approving the type of measuring instruments.

6. In MI, compared with ST RK, they refer more to the regulatory document for the verification of the heat meter, in ST RK there are clarifications or a reference to the operational document of the thermal energy meter. This results from the situation that, within the jurisdiction of the Russian Federation, the manufacturer develops its own regulatory document for each type of heat meter. While across the national territory of the Republic of Kazakhstan we can use both a national standard or an interstate standard introduced in the Republic of Kazakhstan for verification of any measuring instrument, it is not necessary to develop a verification methodology for a specific type of product if all the necessary conditions for verification of this type of product are met in the selected ST RK or GOST.

7. At the point of determining the error in measuring the amount of heat in the ST RK, Gnom is used – the nominal flow rate of the coolant, in MI – GP – the value of the transient flow rate of the coolant.

8. The national standard does not specify the year of issue of the reference normative documents

throughout the text, therefore, when using this methodology, we can use an updated version of the reference documents. However, there are clarifications in MI, for example: to determine the density of the coolant, the equations given in MI 2412-97 are used; verification of resistance thermal converters in ST RK in accordance with GOST 8.461, MI – GOST 8.461-82.

9. When determining the error of the TV during conversion and calculating the amount of heat and heat flow in the MI, there are the following verification points. At the calculator input, electrical signals reproducing the coolant's flow rate, volume, temperature, and pressure characteristics are introduced. For each mode defined in clauses 14.1.1 and 14.1.2, three successive heat-quantity measurements are performed, and the resulting TV errors are determined with regard to both the meter's completeness and the selected method for calculating heat quantity. There are no such verification points in the ST RK.

When making changes and additions to the ST RK, it is necessary to add this verification point, since the heat meter is one of the components of the heat meter, which must also undergo the verification procedure, usually this happens using signals simulating the flow rate, volume, temperature and pressure of the coolant, as specified in MI 2573.

10. The ST RK specifies an assessment of the uncertainty of measurements, it is carried out at the request of applicants in accordance with [20], [21], there is a recommended form for calculating uncertainty. There is no information in the MI about the estimation of the uncertainty of the heat meter measurements.

When assessing the uncertainty of measurements in the ST RK, the following regulatory documents can be supplemented: ST RK 2.317-2015 "The State System for Ensuring the Uniformity of Measurements of the Republic of Kazakhstan. Expression of Uncertainty and Reliability of Measurement Results" and procedural documents on the expression of measurement uncertainty of the national accreditation body.

Conclusion

As a result of the conducted research, a comparative assessment of two methods of

verification of heat meters was carried out: ST RK 2.447-2017 and MI 2573-2000. The analysis showed that both methods are designed to maintain measurement accuracy and reliability of thermal energy in water heating systems. However, the national standard ST RK 2.447-2017 takes into account more relevant requirements for metrological characteristics and applies improved verification methods in the Republic of Kazakhstan. At the same time, MI 2573-2000 remains an important document, as it contains time-tested approaches and measurement principles in the CIS countries.

Despite the existence of the verification methodology for heat meters described in ST RK 2.447-2017, there is a need to develop a new or improved ST RK for heat meters, which would cover all the recommendations listed in the analysis of the methods. The technique will optimize the verification process, reduce time and material costs, and improve the accuracy and reproducibility of measurements. The introduction of the improved ST RK into the activities of domestic manufacturing enterprises and accredited calibration laboratories in Kazakhstan will substantially improve the competitiveness of national instrument engineering and contribute to more effective monitoring of thermal energy consumption.

Thus, the technical thermal-energy metering system in the Republic of Kazakhstan can be considered as an open evolving system, subject to both internal factors (changes in regulatory requirements, modernization of metering devices) and external (introduction of international practices, transition to digital and intelligent technologies). The development and implementation of an improved verification methodology for heat meters with elements of data mining reflects the natural development of an open system striving to improve accuracy, adaptability and sustainability. This approach is in line with current trends in integrating metrological processes into broader cyber-physical and energy systems.

Funding

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP27508001 "Study of stability of perovskite materials under low-temperature conditions (15-100 K) for further application in space research").

References

1. Ficco G. et al. Field verification of thermal energy meters through ultrasonic clamp-on master meters //Measurement. – 2020. – Т. 151. – С. 107152.
2. Choi H. M. et al. Evaluation of flowmeters for heat metering //Flow Measurement and Instrumentation. – 2011. – Т. 22. – №. 5. – С. 475-481.
3. Weissenbrunner A. et al. Simulation-based determination of systematic errors of flow meters due to uncertain inflow conditions //Flow Measurement and Instrumentation. – 2016. – Т. 52. – С. 25-39.
4. Lupei A. G. Commercial accounting for thermal energy in heat sources: Problems and resolution //Measurement Techniques. – 2004. – Т. 47. – №. 11. – С. 1127-1131.
5. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency.
6. M. Dell'Isola, G. Ficco, F. Arpino, G. Cortellessa, L. Canale, A novel model for the evaluation of heat accounting systems reliability in residential buildings, Energy Build. 150 (2017) 281–293.
7. G. Ficco, L. Celenza, M. Dell'Isola, P. Vigo, Experimental comparison of heat allocation systems in a residential building at critical conditions, Energy Build. 130 (2016) 477–487.
8. AECOM. An Investigation into Heat Meter Measurement Errors, Final Report, 2013.
9. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 february 2014 on the harmonisation of the laws of the member states relating to the making available on the market of measuring instruments (recast).
10. The Law of the Republic of Kazakhstan “On Ensuring the Uniformity of Measurements” dated June 7, 2000 No. 53-II.
11. Order of the Minister of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 27, 2018 No. 934. – “On Approval of the Rules for Verification of Measuring Instruments, Establishment of the Frequency of Verification of Measuring Instruments and the Form of the Certificate of Verification of Measuring Instruments”
12. ST RK 2.447-2017 – “Heat Meters. Methods and Means of Verification”.
13. MI 2573-2000 – “Heat Meters for Water Heating Systems. Verification Procedure. General Provisions”.
14. The Law of the Republic of Kazakhstan “On Thermal Power Engineering” dated July 8, 2024 No. 120-VIII SAM.
15. ST RK 2.63-2018 – “Methods of Verification of Measuring Instruments. The Procedure of Development, Approval and Application”.
16. PR 50.2.006-94 – “The State System of Ensuring the Uniformity of Measurements. The Procedure for Verification of Measuring Instruments”.
17. Anthony J. The Measuring Instruments Directive: An Overview of a Significant Change to Legal Metrology in the European Union //Measurement and Control. – 2005. – Т. 38. – №. 6. – С. 179-182.
18. MI 2412-97 “GSI. Water Heating Systems. Measurement Equations of Thermal Energy and the Amount of Coolant”.
19. Order of the Deputy Prime Minister of the Republic of Kazakhstan – Minister of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan “On Approval of the Rules for the Manufacture, Storage and Use of Verification Stamps” dated June 13, 2014 No. 215.
20. Guidelines for the Expression of Measurement Uncertainty, Mendelev VNIIM, St. Petersburg, 1999.
21. RMG 43 -2001 – The State system for ensuring the uniformity of measurements. Application of the “Guidelines for the Expression of Measurement Uncertainty”.
22. Xu B. et al. Error correction method for heat flux and a new algorithm employed in inverting wall thermal resistance using an artificial neural network: Based on IN-SITU heat flux measurements //Energy. – 2023. – Т. 282. – С. 128896.

Information about authors:

Nurulina Assel – master's degree in “Metrology by Industry”, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: melissa_painy@mail.ru)

Saltanat Bergaliyeva – PhD, Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Metrology at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan, email: saltadiva@mail.ru)

Akylbayeva Aigerim – PhD, senior lecturer at the Department of Standardization, Certification and Metrology at KazNITU named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan, a.akylbayeva@satbayev.university)

Yerezhep Darkhan (corresponding-author) – candidate of Technical Sciences. PhD, Director of the AlmaU Technology Commercialization Center (Almaty, Kazakhstan, e-mail: darhan_13@physics.kz)

Авторлар туралы мәлімет:

Нұрулина Асель Маратовна – «Метрология салалар бойынша» мамандығының магистранты, Satbayev University (Алматы, Қазақстан, e-mail: melissa_painy@mail.ru)

Бергалиева Салтанат Амангельдиновна – философия докторы PhD, Қ.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың «Стандартизация, сертификация және метрология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: saltadiva@mail.ru)

Ақылбайева Айгерим Кайылжановна – PhD докторы, Қ.И. Саппаев атындағы ҚазҰТУ «Стандарттай, сертификаттай және метрология» кафедрасының ага оқытушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.akylbayeva@satbayev.university)

Ережең Дархан Есейұлы (корреспондент-автор) – техника ғылымдарының кандидаты. PhD, AlmaU технологиясын коммерцияландыру орталығының директоры (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: darhan_13@physics.kz)

Сведения об авторах:

Нуруллина Асель Маратовна – магистрант специальности «Метрология по отраслям», Satbayev University (Алматы, Казахстан, e-mail: melissa_painy@mail.ru).

Бергалиева Салтанат Амангельдиновна – доктор философии PhD, ассоц. профессор кафедры стандартизации, сертификации и метрологии КазНИТУ им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: saltadiva@mail.ru).

Акылбаева Айгерим Кайылжановна – PhD, старший преподаватель кафедры стандартизации, сертификации и метрологии КазНИТУ им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: a.akylbayeva@satbayev.university).

Ережеп Дархан Есейұлы (корреспондент-автор) – кандидат технических наук, PhD, директор Центра коммерциализации технологий AlmaU (Алматы, Казахстан, e-mail: darhan_13@physics.kz).

Submitted for review 13.10.25

Accepted 19.12.25

Ш.Ш. Гусейнов^{*}  , С.Ш. Гусейнов 

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси, Баку, Азербайджан
 *e-mail: shirin.guseyn@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК

Цель работы – качественное и количественное исследование эволюции характеристик всплесков радиоизлучения от мощных протонных и не протонных солнечных вспышек. За последние несколько десятилетий специалисты на основе данных многочисленные многоволновые исследования излучения солнечных вспышек показывают, что эруптивные солнечные вспышки, сопровождающиеся протонными возрастаниями, состоят из импульсной и постепенной фаз. В микроволновом диапазоне ценные исследования, посвященные диагностике радиовсплесков солнечных протонных событий на основе их интенсивностей, базируются на методе ИЗМИРАН. Мы также творчески подошли к решению этих задач и впервые применили фрактальный метод и его версию «скользящего окна» к составленным нами временным рядам, полученным на основе радио всплесков солнечных протонных вспышек, наблюдавшихся одновременно в микроволновых диапазонах $\lambda = 10.7$ и 27.8 см. Наблюдения проводились в 2014–20 гг. на РТ-12 радиотелескопе Института Ионосферы Республики Казахстан на частотах $f = 1$ и 3 ГГц. Кроме того, наблюдались три протонные события в микроволновых областях $\lambda = 10.7$ и 27.8 см от солнечных вспышек, удовлетворяющие критерию Танаки-Энноме $F_{3\text{cm}} / F_{8\text{cm}} > 1$, аналогичному критерию $F_{10.7\text{cm}} / F_{8\text{cm}} > 1$. На основании рассчитанных нами значений D_t и H_t за период времени, в течение которого произошли события, можно определить его максимальные нестабильные периоды.

Ключевые слова: солнечные вспышки, радиодиагностика, микроволновое излучение, фрактальный анализ, радиовсплески.

Sh.Sh. Huseynov*, S.Sh. Huseynov
 Shamakhi Astrophysical Observatory named after. N. Tusi, Baku, Azerbaijan
 *e-mail: shirin.guseyn@gmail.com

A study of the dynamics of fractal characteristics of microwave radiation from powerful solar proton flares

The aim of this work is a qualitative and quantitative study of the evolution of the characteristics of radio emission bursts from powerful proton and non-proton solar flares. Over the past few decades, experts have shown, based on data from numerous multi-wavelength studies of solar flare radiation, that eruptive solar flares accompanied by proton enhancements consist of an impulsive and a gradual phase. In the microwave range, valuable research devoted to the diagnostics of radio bursts of solar proton events based on their intensities is based on the IZMIRAN method. We also took a creative approach to solving these problems and for the first time applied the fractal method and its "sliding window" version to the time series we compiled, obtained from radio bursts of solar proton events observed simultaneously in the microwave ranges $\lambda = 10.7$ and 27.8 cm. Observations were carried out in 2014–20 on the RT-12 radio telescope of the Institute of Ionosphere of the Republic of Kazakhstan at frequencies $f = 1$ and 3 GHz. In addition, three-proton events were observed in the microwave regions $\lambda = 10.7$ and 27.8 cm from solar flares, satisfying the Tanaka-Enome criterion $F_{3\text{cm}} / F_{8\text{cm}} > 1$, similar to the criterion $F_{10.7\text{cm}} / F_{8\text{cm}} > 1$. Based on the values of D_t and H_t calculated by us for the period of time during which the events occurred, we can determine its maximum unstable periods.

Keywords: solar flares, radio diagnostics, microwave radiation, fractal analysis, radio bursts.

Ш.Ш. Гусейнов*, С.Ш. Гусейнов

Әзірбайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігінің Н. Туси атындағы
Шамахы астрофизикалық обсерваториясы, Баку, Әзірбайжан
*e-mail: shirin.guseyn@gmail.com

Құшті құн протон жарқырауарының микротолқындық сәулеленуінің фракталдық сипаттамаларының динамикасын зерттеу

Жұмыстың мақсаты – құшті протондық және протондық емес құн жарқылдарынан шыға-тын радио сәулелену жарылыстарының сипаттамаларының эволюциясын сапалы және сандық тұрғыдан зерттеу. Соңғы бірнеше онжылдықта мамандар құн жарқылдарының сәулеленуіне арналған көптеген көптөлкүнды зерттеулер деректері негізінде протондық өсулермен бірге жүре-тін жарылғыш құн жарқылдарының импульстік және біртіндеп фазадан тұратынын көрсетеді. Микротолқынды диапазонда, олардың интенсивтілігіне сүйене отырып, радио жарылыстарын диагностикалауға арналған құнды зерттеулер ИЗМИРАН әдісіне негізделген. Біз де осы міндеттерді шешуге шығармашылық тұрғыдан келдік және алғаш рет фракталдық әдісті және оның «сырғымалы терезе» нұсқасын микротолқынды диапазондарда $\lambda = 10,7$ және $27,8$ см бір мезгілде бақыланған құн протондық жарқылдарының радио жарылыстарына негізделген үақыттық, қа-тарларға қолданылды. Бақылаулар 2014–2020 жылдары Қазақстан Республикасының Ионосфе-ра институтының РТ-12 радиотелескопында $f = 1$ және 3 ГГц жиіліктерінде жүргізілді. Сонымен қатар құн жарқылы кезіндегі микротолқынды аймақтарда $\lambda = 10,7$ және $27,8$ см үш протондық оқиғалар бақыланды, олар Танака-Энноме критерийіне сай келді: $F_{3\text{cm}}/F_{8\text{cm}} > 1$, бұл $F_{10,7\text{cm}}/F_{27,8\text{cm}} > 1$ критерийіне үқсас. Оқиғалар болған үақыт аралығында есептелген D_t және H_t мәндеріне негіз-дөле отырып, олардың ең үлкен тұрақсыз кезеңдерін анықтауға болады.

Түйін сөздер: құн жарқылы, радио диагностика, микротолқынды сәуле шығару, фракталдық талдау, радиотолқынды жарқылы.

Введение

Уже более 60 лет специалисты проводят интенсивные исследования по эволюции, прогнозированию, диагностике и оценке диагностике процессов в солнечных протонных вспышках. Исследования, проводимые в этом направлении в разных диапазонах, нашли отражение в работах [1-3].

На основании результатов исследований, проведенных в течение последних несколько десятилетий на основе данных о космическом излучении Солнца (СКЛ), исследователи пришли к выводу, что динамику вспышечных процессов можно условно разделить на три фазы:

1. Предвспышечную; 2.Импульсную (фазу нарастания потока от условного начала до максимума); 3.Постпенную (фазу спада потока после максимума) [4].

В микроволновом диапазоне ценные исследования, посвященные диагностике радио всплесков солнечных протонных событий на основе их интенсивностей, базируются на методе ИЗМИРАН [5-7].

Преимущество изучения солнечной активности в радиодиапазоне состоит главным образом в следующих фактах:

1. Атмосфера Земли меньше влияет на сигнал, который мы принимаем;

2. Наблюдения в очень широком диапазоне частот $\sim 1 \div 24$ ГГц позволяет локализовать различные структуры в атмосфере Солнца, включая активные области, волокна и корональные дыры;

3. Производство радиотелескопов экономически выгодно по сравнению с технологиями внеатмосферных наблюдений и оптических устройств.

Радиоизлучение Солнца не приносит заметной энергии в межпланетную среду и в окрестности Земли. Несмотря на это, он содержит очень полезную информацию о событиях в солнечной атмосфере и условий космической погоды. В отличие от КУФ-линий, микроволновое излучение формируется не атомными переходами отдельных элементов, а свободными электронами. Свойства этого радиоизлучения зависит не только от температуры и плотности плазмы, но и от величины и направления коронального магнитного поля, что делает многоволновые наблюдения уникальным инструментом диагностики корональной плазмы [8,9].

Данные по микроволновому излучению могут быть использованы для оценки свойств потока солнечных протонов. Это указывает на то, что протоны, распространяющиеся в межпланетном пространстве, и электроны, генерирующие микроволновое излучение, имеют вспышечную природу.

Радионаблюдения являются незаменимым источником информации, с одной стороны, для диагностики текущих процессов, связанных с активностью в солнечной атмосфере, а с другой стороны, для создания теории о природе выделения энергии в виде импульсов в вспышечных процессах и разработки алгоритма его прогнозирования [10].

Таким образом, исследование солнечной вспышки, протонных событий и их диагностики в микроволновом диапазоне на основе результатов одновременных наблюдений флуктуаций интегрального потока радиоизлучения во вспышечной области Солнца, генерируемая в переходном слое ($\lambda=10.7$ см) и нижней короне ($\lambda=27.8$ см) не теряют своей актуальности в физике Солнца и солнечно – земных связей.

В первом разделе рассматривается актуальность изучения эволюции и диагностики мощных вспышек и протонных событий, происходящих на Солнце по радио всплескам в микроволновом диапазоне, одновременно на двух частотах (1 и 3 ГГц), а во втором разделе рассматриваются вопросы подготовки и математической обработки данных наблюдений. В третьем разделе обсуждаются взаимосвязи между различными параметрами солнечных вспышек (мощность потока интенсивности, спектральными волнами, в которых они происходят) и отражены основные научные результаты, полученные на основе применения фрактального метода и его версии «скользящего окна» к временному ряду трех протонных событий.

Подготовка и математическая обработка экспериментальных данных

Наблюдения в микроволновом диапазоне проводились в 2014÷20 гг на радиотелескопе РТ-12 Института Ионосферы Республики Казахстана. Данные оцифровываются с пятисекундным ($\Delta t = 5$ сек.) интервалом. Подробные сведения об устройстве радиотелескопа РТ-12 и значениях его основных параметров приведены в работе [11].

Мы также творчески подошли к решению этих задач и впервые применили фрактальный метод и его версию «скользящего окна» к составленным нами временным рядам, полу-

ченным на основе радио всплесков солнечных протонных вспышек, наблюдавшихся одновременно в микроволновых диапазонах $\lambda=10.7$ и 27.8 см [12-14].

Обработка наблюдательных данных проводилась с помощью фрактального анализа и его версии «скользящего окна». В качестве наблюдательного материала мы использовали 7(семь) изолированных солнечных всплесков. На рис. 1 показаны временные профили вспышек на частоте $f=3$ ГГц наблюдающихся в 2014÷20 гг. В работе на основании данных наблюдений были построены профили интенсивности-время, для 7 обнаруженных вспышечных процессов, из которых были в дальнейшем исследованы 3 протонные вспышки удовлетворяющие критериям Танака-Эноме и протонности. На основе временных профилей приведенных в работе видно, что в записях сигнала имеются максимумы, которые существенно изменяются от реализации к реализации [15].

Из таблицы 1 видно, что рассчитанные значения фрактальных параметров для изученных нами временных рядов вспышечных процессов изменяются в диапазонах $0.5 < H_t < 1$ и $1 < D_t < 1.5$. Эти значения свидетельствуют о том, что временной ряд является непрерывным (инерционным) [13, 15]

Кроме того, наблюдались три протонные события в микроволновых областях $\lambda=10.7$ и 27.8 см от солнечных вспышек, удовлетворяющие критерию Танаки-Эноме $F_{3\text{cm}} / F_{8\text{cm}} > 1$, аналогичному критерию $F_{10.7\text{cm}} / F_{27.8\text{cm}} > 1$. Танака и Эноме [16] установили, что перед мощными протонными событиями излучение в активных областях (АО) на короткой волне $f=3$ см увеличивается более резко, чем на более длинной волне $f=8$ см. Исследования показали, что для трех вспышечных событий: В 6.2/~Х 2.4, 01.09.2014 г.; М 2.7, 21.06.2015 г. и М 7.9, 25.06.2015 г. выполняются критерии протонности. Критерием протонности солнечной вспышки является достижение потоками протонов и ионов, ускоренных в результате вспышки или коронального выброса массы, значительных энергий ($E > 10$ МэВ) и скоростей, опасных для околоземного пространства. Это отражено в каталоге протонных событий, составленном под руководством Ю. И. Логачёвым [17].

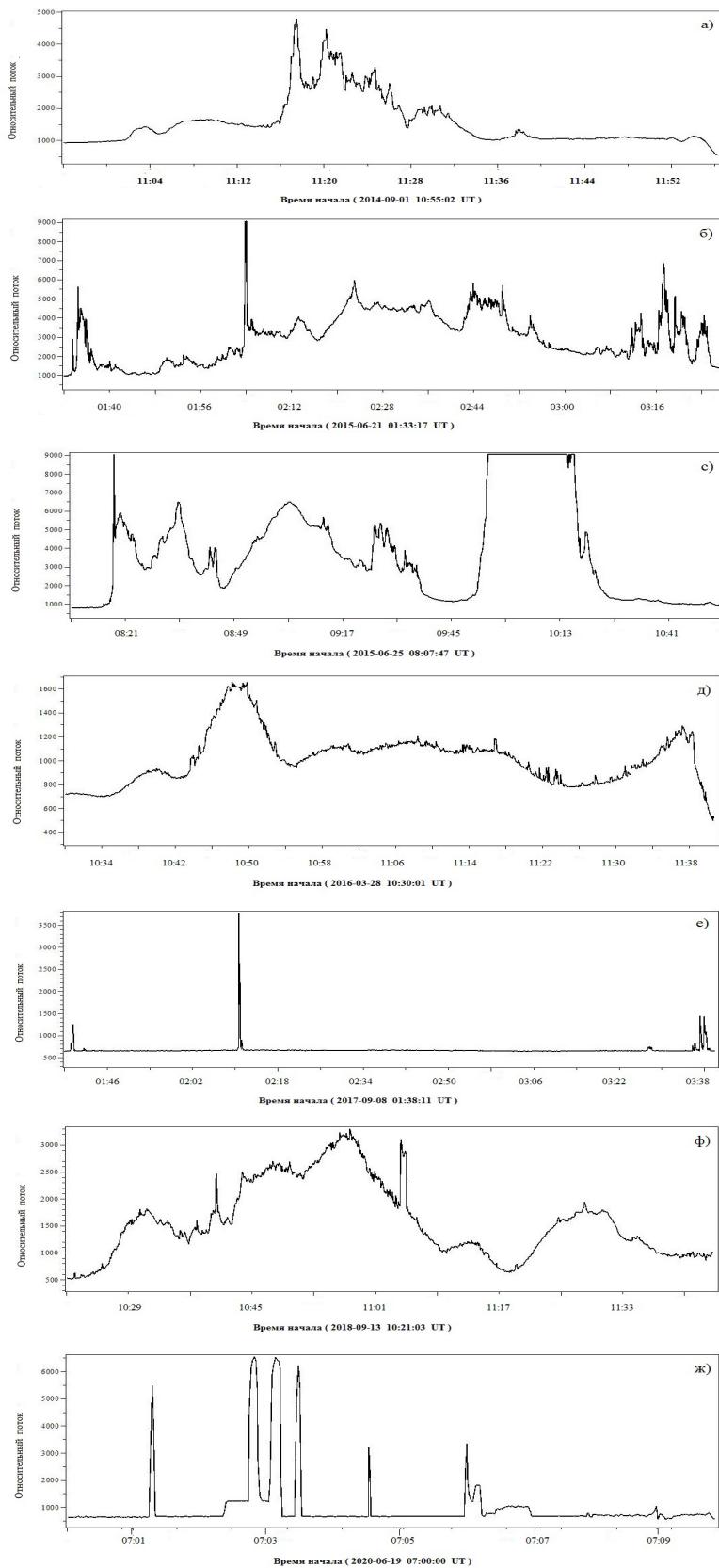


Рисунок 1 – Временные профили 7-и солнечных вспышек наблюдающихся в 2014÷20 гг. на РТ-12 в диапазоне $\lambda=10.7$ см Института Ионосферы Республики Казахстан

Таблица 1 – Показаны оценки показателя Херста и показатель степени фрактальной размерности

Дата (время событий)	Показатель Херста H_t	Фрактальная размерность D_t
01.09.2014 (10:55:02 – 11:57:42 UT)	0.792	1.207
21.06.2015 (01:33:17 – 03:33:18 UT)	0.812	1.187
25.06.2015 (08:07:47 – 10:58:19 UT)	0.771	1.228
28.03.2016 (10:30:01 – 11:43:47 UT)	0.787	1.212
08.09.2017 (01:38:11 – 03:45:22 UT)	0.583	1.416
13.09.2018 (10:21:03 – 11:47:25 UT)	0.810	1.189
19.06.2020 (07:00:00 – 07:09:49 UT)	0.687	1.312

На рис. 2 показаны временные профили интенсивности микроволнового излучения в трех протонных вспышках, наблюдающихся одновременно на двух частотах ($f=1$ и 3 ГГц).

Началом солнечной вспышки мы условно считаем момент, когда интенсивность радиоизлучения на частоте $f=3$ ГГц начинает возрастать.

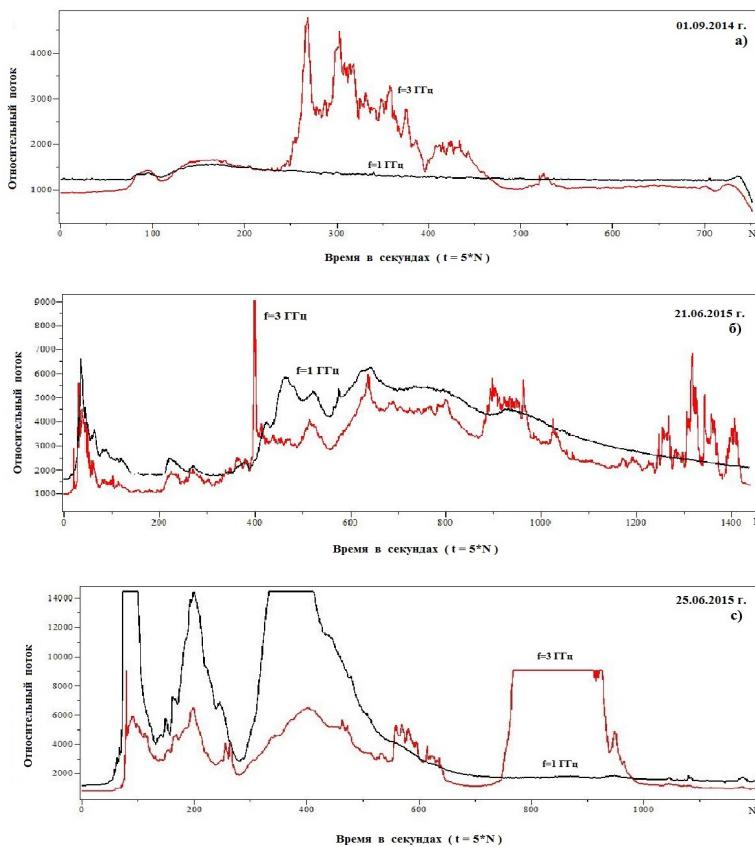


Рисунок 2 – Временные профили интенсивности микроволнового излучения на частотах $f = 1$ и 3 ГГц в трех протонных вспышках наблюдающихся одновременно по наблюдениям радиотелескопа РТ-12

Таблица 2 – Предоставлены значения оценки H_t – показателя Херста, сделанные методом фрактального анализа в версии «скользящего окна» по наблюдениям на частотах $f=1$ и 3 ГГц радиотелескопом РТ-12

Дата (время событий)	f	H_t	H_{t1}	H_{t2}	H_{t3}	H_{t4}	H_{t5}	H_{t6}	H_{t7}
01.09.2014 (10:55:02–11:57:42 UT)	3 ГГц	0.792	0.735	0.745	0.748	0.721	0.761	0.741	0.740
	1 ГГц	0.779	0.730	0.752	0.797	0.827	0.841	0.878	0.876
21.06.2015 (01:33:17–03:33:18 UT)	3 ГГц	0.812	0.727	0.654	0.674	0.701	0.762	0.764	0.704
	1 ГГц	0.834	0.743	0.747	0.725	0.786	0.774	0.781	0.785
25.06.2015 (08:07:47–10:58:19 UT)	3 ГГц	0.771	0.775	0.761	0.744	0.735	0.790	0.786	0.785
	1 ГГц	0.818	0.745	0.769	0.771	0.771	0.798	0.764	0.735

Таблица 3 – Предоставлены значения оценки D_t – степень фрактальной размерности, сделанные методом фрактального анализа в версии «скользящего окна» по наблюдениям на частотах $f=1$ и 3 ГГц радиотелескопом РТ-12

Дата (время событий)	f	D_t	D_{t1}	D_{t2}	D_{t3}	D_{t4}	D_{t5}	D_{t6}	D_{t7}
01.09.2014 (10:55:02–11:57:42 UT)	3 ГГц	1.207	1.264	1.254	1.251	1.278	1.238	1.258	1.259
	1 ГГц	1.200	1.269	1.247	1.202	1.172	1.158	1.121	1.123
21.06.2015 (01:33:17–03:33:18 UT)	3 ГГц	1.187	1.272	1.345	1.325	1.298	1.237	1.235	1.295
	1 ГГц	1.165	1.256	1.252	1.274	1.213	1.225	1.218	1.214
25.06.2015 (08:07:47–10:58:19 UT)	3 ГГц	1.228	1.224	1.238	1.255	1.264	1.209	1.213	1.214
	1 ГГц	1.181	1.254	1.230	1.228	1.228	1.201	1.235	1.264

На рисунках 3 и 4 представлена динамика хаотических характеристик солнечных протонных вспышек на основе значений параметров H_t

и D_t , рассчитанных на частотах $f=1$ и 3 ГГц с использованием фрактального метода и его версии “скользящего окна”.

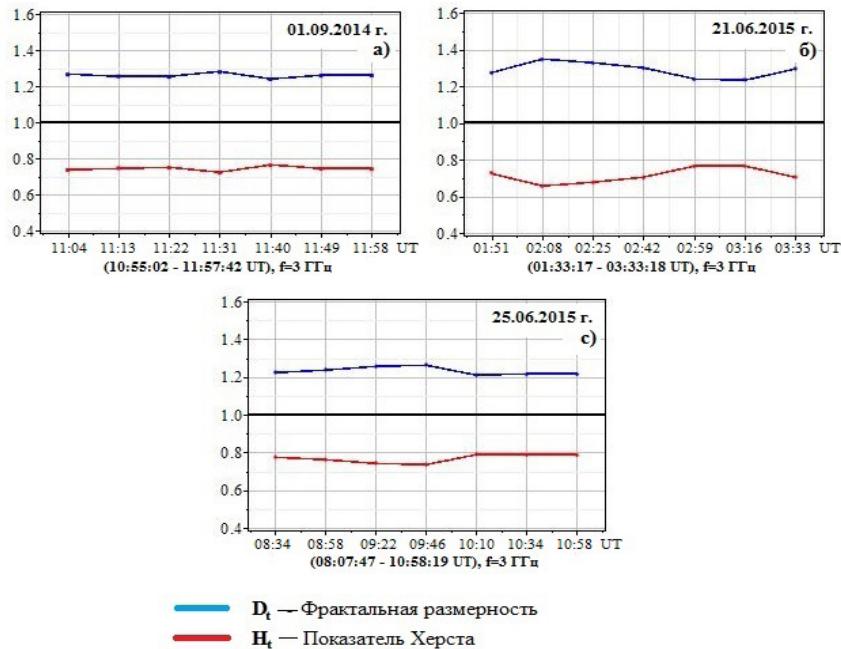


Рисунок 3 – Представленна зависимость показателя Хреста и фрактальная размерность, найденные по интенсивности радиоизлучения в протонных вспышках на частоте $f=3$ ГГц с течением времени

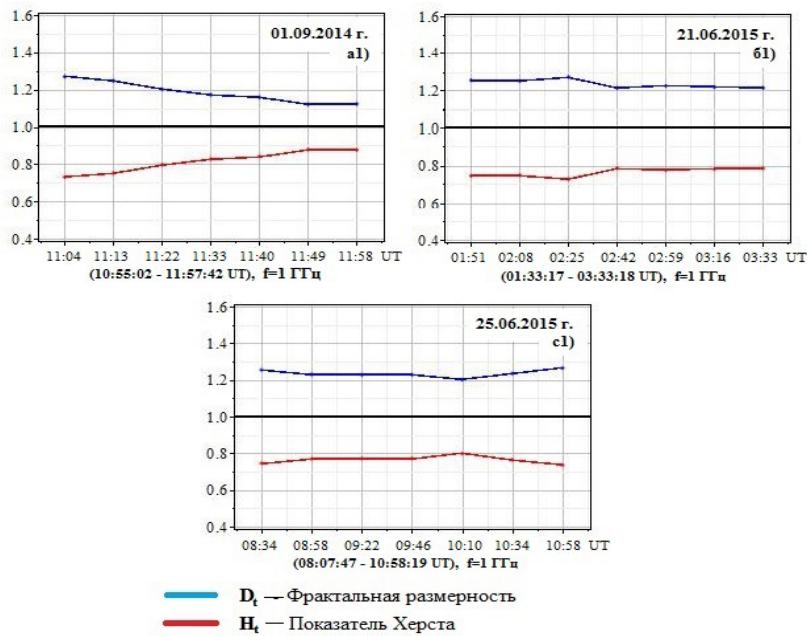


Рисунок 4 – Представлена зависимость показателя Херста и фрактальная размерность, найденные по интенсивности радиоизлучения в протонных вспышках на частоте $f=1$ ГГц с течением времени

Обсуждение и выводы

Суть фрактального анализа состоит в определении степени хаотичности временного ряда. Оценка производится с помощью показателей хаотичности: показателя Херста H_t и фрактальной размерности D_t , которые отражают природу анализируемого процесса. Анализ показателей позволяет правильно выбрать тип математической модели временных рядов [12, 13].

На основании рассчитанных нами значений D_t и H_t за период времени, в течение которого произошли события, можно определить его максимальные нестабильные периоды.

Разделив рассматриваемый нами временной ряд на интервалы, мы можем на основе вычисленных значений H_t – определить при каких интервалах он стремится к 1 а при каких к 0.

Значения фрактальных размерностей $D_{1\text{ГГц}} = 1.165$, $D_{3\text{ГГц}} = 1.187$ и индексов Херста $H_{1\text{ГГц}} = 0.834$, $H_{3\text{ГГц}} = 0.812$ солнечных протонных вспышек, исследованные нами с помощью фрактального метода и его правила динамики сечений на частотах $f=1$ и 3 ГГц, характеризуют инерционность процесса. Рассчитанные нами значения фрактальных параметров (H_t и D_t) характеризуют устойчивость системы. Пере-sistентный ряд: временной ряд, который сохра-

няет долговременную память (то есть прошлые события влияют на будущее).

Следует отметить, что рассчитанные с использованием варианта «скользящего окна» фрактального метода значения показателей H_t – Херста в табл. 2 в некоторых диапазонах не удовлетворяют условиям $H_{1\text{ГГц}} > H_{3\text{ГГц}}$. Отсюда мы приходим к выводу, что основной причиной этого является низкое разрешение ($\theta = 1.2^\circ$ в 3°) радиотелескопа РТ-12 в диапазонах $\lambda=10.7$ и 27.8 см соответственно. Это более выражено в вспышечных процессах, которые происходят одновременно или с небольшой разницей во времени в близких друг к другу активных областях (пятнах) солнечной атмосферы.

Исходя из выше изложенного можно сделать следующие основные выводы:

1. Профили интенсивности и времени двухчастотных радиоизлучений (1 и 3 ГГц) солнечных протонных вспышек и вычисленные нами оценки фрактальных параметров (H_t и D_t) позволяют проследить динамику событий.

2. В результате исследования 3-х солнечных протонных вспышек с использованием фрактального метода и его версии «скользящего окна» установлено, что параметры фрактала (H_t и D_t) изменились в диапазонах $0.5 < H_t > 1$ и $1 < D_t < 1.5$ соответственно. Это также свидетель-

ствует тому, что временные ряды, отражающие процессы адаптации, являются инерционными.

3. Исследование показало, что значения показателей H_t – Херста, рассчитанные нами по радиоизлучению 3-х солнечных протонных вспышек в двухчастотной области (1 и 3 ГГц), удовлетворяют условию $H_{1\text{ГГц}} > H_{3\text{ГГц}}$. Это показывает, что радиоизлучения в нижней короне ($f=1$ ГГц) более устойчивы чем во вспышечной области Солнца, генерируемые в переходном слое ($f=3$ ГГц).

4. В табл. 2 и табл. 3 изменение показателей Херста $0.5 < H_t < 1$, рассчитанные на частотах 1 и 3 ГГц показывают, что тип временного ряда, отражающего динамику солнечных протонных

вспышек является инерционным, а измерение значения фрактальных размерностей $1 < D_t < 1.5$ указывает на сложность события.

Таким образом, изучение динамики мощных вспышек и протонных событий, происходящих на Солнце одновременно на двух частотах (1 и 3 ГГц), с использованием фрактального метода и его версию «скользящего окна» позволяет глубже понять механизмы возникновения подобных явлений и повышает эффективность радио диагностики.

Авторы выражают глубокую благодарность руководству Института Ионосфера Республики Казахстан за доступ к наблюдательным данным.

Литературы

1. Bazilevskaya G. A., On the early phase of relativistic solar particle events: are there signatures of acceleration mechanism ? Adv. Space Res., V.43, p530-536, (2009), DOI:10.1016/j.asr.2008.08.005.
2. Гречнев В. В., Киселев В. И., Мешалкина Н. С., Черток И. М., О корреляции околосолнечных протонных возрастаний > 100 МэВ с параметрами солнечных микроволновых всплесков, Солнечно-земная физика, Т.3, N.3, С.3-14, (2017).
3. Струминский А. Б., Солнечные протонные события 6 и 10 сентября 2017 г.: момент первого прихода протонов и электронов, Известия РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, Т.83, N.5, С.579-601, (2019).
4. Струминский А. Б., Григорьева И. Ю., Логачев Ю. И., Садовский А. М., Солнечные электроны и протоны в событиях 4-10 сентября 2017 года и сопутствующие явления, ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, Т.46, N.2, С.139-153, (2020).
5. Фомичев В. В., Черток И. М., Сопоставление данных о потоках протонов у Земли с результатами диагностики солнечных протонных вспышек по радио всплескам, Геомагнетизм и аэрономия, Т.28, N.3, С.353, (1988).
6. Фомичев В. В., Черток И. М., Дель Поко Э., Определение показателя энергетического спектра потоков протонов у Земли по частотному спектру солнечных микроволновых всплесков, Геомагнетизм и аэрономия, Т.29, N.3, С.545, (1989).
7. Черток И. М., Зависимость между энергетическим спектром протонов и частотой спектрального максимума солнечных микроволновых всплесков, Солнечные данные, N.11, С.85-90, (1990).
8. Смольков Г. Я., Новое в микроволновом излучении солнечных активных областей, УФН, Т.163, N.1, С.102, (1993).
9. Смольков Г. Я., Излучение плазменных и магнитогидродинамических процессов в солнечной короне по ее радиоизлучению, Труды БММНШФФ, Иркутск ИСЗФ, С.39, (2004).
10. Smolkov G. Ya., Maksimov V. P., Uralov A. M., Microwave signatures of solar flare buildup, Adv. Space Sci, V.26, P.193, (2000).
11. Гонтарев О. Г., Жумабаев Б. Т., Левин Ю. Н., Акасов С. М., Бобров М. Н., Николаевский Н. Ф., Водянников В. В., Радиоастрономия в Казахстане сегодня, В кн.: Казахстанские Космические Исследования “Геодинамика и Солнечно – земные связи”, Алматы, С.208-219, (2013).
12. Гусейнов Ш. Ш., Сомсиков В. М., Гусейнов С. Ш., Андреев А. Б., Копытин В. И., Моделирование структуры нестационарных и коротких временных рядов радиоизлучения Солнца на основе фрактального анализа, Журнал проблем эволюции открытых систем (ПЭОС), Т.22, N.2, С.60-66, (2020).
13. Hurst H. E., Long stroge of reservoirs: an experimental study, Transactions of the American Society of Civil Engineers, V.116, P.779-808, (1951).
14. Huseynov Sh. Sh., Huseynov S. Sh., Application of dynamic methods in radio astronomy data processing, Journal of Problems of the Evolution of Open Systems (Journal PEOS), Almaty, V.24, N.1, P.73-81, (2022), doi.org/10.26577/JPEOS.2022.V.24.i1.i4
15. Huseynov Sh. Sh., Huseynov S. Sh., Levin Yu. N., Variations in fractal characteristics of a solar proton event, Journal of Problems of the Evolution of Open Systems (Journal PEOS), Almaty, V.26, N.2, P.11-17, (2024), doi.org/10.26577/JPEOS.2024.V.26.i2-a2
16. Tanaka H., Enome S., The microwave structure of coronal condensations and its relation to proton flare, Sol. Phys., V.40, N.1, P.123-133, (1975).
17. Logachev Yu. I., Bazilevskaya G. A., Vlasova N. A., Ginzburg E. A., Daibog E. I., Ishkov V. N. et al., Catalog of solar proton events of the 24th solar cycle activity (2009-2019), Moscow, P.1-964, (2022).

References

1. Bazilevskaya G. A., On the early phase of relativistic solar particle events: are there signatures of acceleration mechanism ? Adv. Space Res., V.43, p530-536, (2009), DOI:10.1016/j.asr.2008.08.005.

2. Grechnev V. V., Kiselev V. I., Meshalkina N. S., Chertok I. M., On the correlation of near-Earth proton increases > 100 MeV with parameters of solar microwave bursts, Solar-Terrestrial Physics, Vol. 3, No. 3, pp. 3-14, (2017). (in Russian)
3. Struminsky A. B., Solar proton events of September 6 and 10, 2017: the moment of the first arrival of protons and electrons, Proceedings of the Russian Academy of Sciences. PHYSICS SERIES, Vol. 83, No. 5, pp. 579-601, (2019). (in Russian)
4. Struminsky A. B., Grigorieva I. Yu., Logachev Yu. I., Sadovsky A. M., Solar electrons and protons in the events of September 4-10, 2017, and associated phenomena, PHYSICS OF PLASMAS, Vol.46, No.2, pp.139-153, (2020). (in Russian)
5. Fomichev V. V., Chertok I. M., Comparison of data on proton fluxes near the Earth with the results of solar proton flare diagnostics based on radio bursts, Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 28, No. 3, p. 353, (1988). (in Russian)
6. Fomichev V. V., Chertok I. M., Del Poso E., Determination of the energy spectrum index of proton fluxes near Earth from the frequency spectrum of solar microwave bursts, Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 29, No. 3, p. 545, (1989). (in Russian)
7. Chertok I. M., Dependence between the energy spectrum of protons and the frequency of the spectral maximum of solar microwave bursts, Solar Data, No. 11, pp. 85-90, (1990). (in Russian)
8. Smolkov G. Ya., New Developments in the Microwave Emission of Solar Active Regions, UFN, Vol. 163, No. 1, p. 102, (1993). (in Russian)
9. Smolkov G. Ya., Radiation of plasma and magnetohydrodynamic processes in the solar corona according to its radio emission, Proceedings of BMMNSHF, Irkutsk ISZF, p.39, (2004). (in Russian)
10. Smolkov G. Ya., Maksimov V. P., Uralov A. M., Microwave signatures of solar flare buildup, Adv. Space Sci, V.26, P.193, (2000).
11. Gontarev O. G., Zhumabayev B. T., Levin Yu. N., Akasov S. M., Bobrov M. N., Nikolaevsky N. F., Vodyannikov V. V., Radio Astronomy in Kazakhstan Today, In: Kazakh Space Research “Geodynamics and Sun-Earth Relations”, Almaty, pp. 208-219, (2013). (in Russian)
12. Guseinov Sh. Sh., Somsikov V. M., Guseinov S. Sh., Andreev A. B., Kopytin V. I., Modeling the Structure of Non-Stationary and Short Time Series of Solar Radio Emission Based on Fractal Analysis, Journal of Problems of Evolution of Open Systems (PEOS), Vol. 22, No. 2, pp. 60-66, (2020). (in Russian)
13. Hurst H. E., Long stroge of reservoirs: an experimental study, Transactions of the American Society of Civil Engineers, V.116, P.779-808, (1951).
14. Huseynov Sh. Sh., Huseynov S. Sh., Application of dynamic methods in radio astronomy data processing, Journal of Problems of the Evolution of Open Systems (Journal PEOS), Almaty, V.24, N.1, P.73-81, (2022), doi.org/10.26577/JPEOS.2022.V.24.i1.i4
15. Huseynov Sh. Sh., Huseynov S. Sh., Levin Yu. N., Variations in fractal characteristics of a solar proton event, Journal of Problems of the Evolution of Open Systems (Journal PEOS), Almaty, V.26, N.2, P.11-17, (2024), doi.org/10.26577/JPEOS.2024.V.26-i2-a2
16. Tanaka H., Enome S., The microwave structure of coronal condensations and its relation to proton flare, Sol. Phys., V.40, N.1, P.123-133, (1975).
17. Logachev Yu. I., Bazilevskaya G. A., Vlasova N. A., Ginzburg E. A., Daibog E. I., Ishkov V. N. et al., Catalog of solar proton events of the 24th solar cycle activity (2009-2019), Moscow, P.1-964, (2022).

Сведения об авторах:

Гусейнов Ширин Шириналы оглы (автор-корреспондент) – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан, e-mail: shirin.guseyn@gmail.com).

Гусейнов Сади Ширин оглы – научный сотрудник Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан, e-mail: sedi-huseynov@mail.ru).

Information about authors:

Huseynov Shirin (corresponding author) – candidate of physical mathematical sciences, leading researcher Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi of Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic (Baku, Azerbaijan, e-mail: shirin.guseyn@gmail.com)

Huseynov Sadi – researcher Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi of Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic (Baku, Azerbaijan, e-mail: sedi-huseynov@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

Гусейнов Ширин (корреспондент-автор) – физика-математика ғылымдар кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Насраддин Туси атындағы Шамахин астрофизикалық обсерваториясы, Шамахи, Әзірбайжан Республикасының Ғылым жөнө Білім министрлігі (Баку, Әзірбайжан, shirin.guseyn@gmail.com)

Гусейнов Сади – ғылыми қызметкер, Насраддин Туси атындағы Шамахин астрофизикалық обсерваториясы, Әзірбайжан Республикасының Ғылым жөнө Білім министрлігі (Баку, Әзірбайжан, edi-huseynov@mail.ru)

Поступила на рассмотрение 24.11.25

Принята 22.12.25

А. Подопригора¹ , Д.Т. Тастанбек^{2*} ,
И. Жалымбетова² , Д.Е. Саметов² 

¹Университет Штата Аризона, Аризона, США

²АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы, Казахстан

*e-mail: dinaratastibek@yandex.ru

РАЗРАБОТКА И КАЛИБРОВКА ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ТЕРМИСТОРА PT100

Мониторинг состояния элементов космических аппаратов – одна из наиболее важных задач космической промышленности. Знание такого ключевого параметра, как температура, позволяет контролировать состояние критически важных компонентов ракеты. Это особенно важно для термочувствительной электроники, а также для частей ракеты, подвергающихся наибольшему термическому воздействию.

Целью данного исследования была разработка компактного и практичного решения для измерения температуры одновременно в трёх точках космического аппарата, а также создание оптимального алгоритма калибровки датчика температуры PT100, используемого в схеме, что позволило бы учесть индивидуальные характеристики датчика для более точного измерения температуры. Научная новизна работы заключается в предлагаемом новом исполнении схемы измерения температуры, нацеленной на компактность и применимость в ракетно-космической технике. О практической значимости работы свидетельствует реальное внедрение данной схемы в национальные проекты. Методология работы включает в себя разработку электронной схемы и отрисовку в редакторе топологии печатных плат EasyEDA, ее подключение, а также калибровку с помощью языка программирования C++ и среды STM32CubeIDE. В работе были использованы такие ключевые электронные компоненты, как терморезистор PT100, усилитель LM224 и микроконтроллер STM32. Результатом является готовое решение для измерения температуры элементов космических аппаратов. Его ценность заключается в применении в реальных проектах, а также в адаптируемости под аналогичные проекты за счёт простоты, компактности и высокой гибкости технических решений. Такое решение было предложено впервые, оно является шагом на пути независимости национальной космической промышленности от зачастую недоступных технологий мировых лидеров в этой области. Тем не менее, оно опирается на международный опыт, применяя и модифицируя классические формулы и схемы.

Ключевые слова: измерение температуры, терморезистор PT100, электронные схемы, проектирование электроники, космическая промышленность.

A. Podoprigora¹, D.T. Tastaibek^{2*}, I. Zhalymbetova², D.E. Sametov²

¹Arizona State University, Arizona, USA

²JSC «National Center of Space Research and Technology», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: dinaratastibek@yandex.ru

Development and calibration of an electronic circuit for measuring the temperature of elements of rocket and space technology based on the PT100 thermistor

Monitoring the condition of spacecraft components is a crucial aspect of the space industry. By monitoring key parameters such as temperature, it is possible to ensure the safety and reliability of critical rocket systems. This is particularly important for thermally sensitive electronics and rocket parts that are subjected to significant thermal stress.

The aim of this research was to develop a compact and efficient solution for simultaneously measuring temperature at three points on a rocket or spacecraft, as well as create an optimal calibration algorithm for a PT100 temperature sensor used in the system. This would allow for considering individual sensor characteristics for more accurate measurements.

The novelty of this work lies in the new design of a temperature measurement system, which has been developed with the aim of being compact and suitable for use in rocket and space technologies. The significance of this work is demonstrated by its practical implementation in national projects.

To achieve these goals, a methodology was followed that included the development of electronic circuits, rendering in the EasyEDA PCB editor, circuit connection, and calibration using C++ programming and the STM32CubeIDE software environment. Key electronic components, such as the PT100 temperature sensor, the LM224 operational amplifier, and the STM32 microcontroller, were used in this project. The result is a custom-designed solution for measuring the temperature of rocket and spacecraft parts. The value of this solution lies in its potential application in real-world projects, as well as its adaptability for similar projects due to its simplicity, compactness, and high degree of technical flexibility. This solution has been proposed for the first time and represents a step towards greater independence for the national space industry, free from the often-unattainable technologies of world leaders in the field. Nevertheless, this solution draws upon international experience by applying and adapting classical formulas and designs.

Keywords: temperature measurement, PT100 thermistor, electronic circuits, electronics design, space industry.

А. Подопригора¹, Д.Т. Тастанбек^{2*}, И. Жалымбетова², Д.Е. Саметов²

¹Аризона Мемлекеттік Университеті, Аризона, АҚШ

² «Ұлттық ғарыштық зерттеулер және технологиялар орталығы» АҚ, Алматы, Қазақстан

*e-mail: dinaratastibek@yandex.ru

PT100 термисторының негізі зымыран-ғарыш техникасы элементтерінің температурасын өлшеуге арналған электрондық схеманы өзірлеу және калибрлеу

Ғарыш аппараттарының элементтерінің күйін бақылау – ғарыш өнеркәсібіндегі ең маңызды міндеттердің бірі. Температура сияқты негізгі параметрді білу зымыранның маңызды компоненттерінің жұмыс жағдайын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл, әсіресе, температурага сезімтал электроника мен жоғары жылулық жүктемеге үшіралытын зымыран бөліктегі үшін аса маңызды. Осы зерттеудің мақсаты – ғарыштық зымыран аппаратының үш нұктесінде температураны бір мезгілде өлшеуге арналған ықшам әрі тиімді шешім өзірлеу, сондай-ақ PT100 температура датчигін калибрлеудің онтайлы алгоритмін жасау болды. Бұл әдіс датчиктің жеке сипаттамаларын ескере отырып, температуралы дәлірек өлшеуге мүмкіндік береді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – ғарыш техникасына арналған ықшам және қолданбалы температура өлшеу схемасының жаңа түрін ұсынуда. Жобаның практикалық маңыздылығы оның ұлттық жобаларда нақты қолданылғанымен расталады. Зерттеу әдістемесі электрондық схеманы өзірлеу мен оны плата сызбаларын салу EasyEDA редакторында жобалауды, сондай-ақ STM32CubeIDE ортасында C++ тілінде қосып, калибрлеуді қамтиды. Жұмыста PT100 терморезисторы, LM224 күшеткіші және STM32 микроконтроллері сияқты негізгі электрондық компоненттер пайдаланылды. Нәтижесінде ғарыш аппараттарының элементтерінің температурасын өлшеуге арналған дайын шешім жасалды. Оның құндылығы – нақты жобаларда қолданылуы және қарапайымдылығы, ықшамдығы мен техникалық икемділігі арқасында үқсас жобаларға бейімделе алуында. Бұл шешім алғаш рет ұсынылып отыр және ол ғарыш өнеркәсібіндегі ұлттық тәуелсіздікке қол жеткізудің маңызды қадамы болып табылады. Сонымен қатар, ол халықаралық тәжірибеге сүйеніп, классикалық формулалар мен схемаларды түрлендіріп қолданады.

Түйін сөздер: температураны өлшеу, PT100 терморезисторы, электрондық схемалар, электрониканы жобалау, ғарыш өнеркәсібі.

Введение

Ввиду того, что разработка ракетно-космических технологий по всему миру не является полностью публичной отраслью, готовых опубликованных конструкций космических аппаратов нет в широком доступе. Поэтому при проектировании новых ракетных и космических установок приходится разрабатывать индивидуальные решения даже для таких, казалось бы,

простых задач, как измерение температуры различных частей ракеты. Таким образом, задача создания гибкой, подстраиваемой под индивидуальные характеристики аппарата системы измерения температуры является актуальной для казахстанской космической промышленности. Объект данного исследования – электронные схемы, предмет – конкретная схема включения термосопротивления PT100. Нашей целью было представление готового решения для индиви-

дуально проектируемой установки, а задачами, которые были поставлены для достижения этой цели были проектирование электронной схемы и её калибровка. Анализ литературных источников помог выявить основные направления работы. Тезис о необходимости создания алгоритма калибровки, выдвинутый в процессе работы, был подтвержден и реализован в практическом виде.

Температура – одна из немногих интуитивно понятных человеку физических величин. Несмотря на это, определение температуры, предложенные в физике, обычно не очень очевидны и обращаются к таким понятиям, как энтропия, цикл Карно или распределения Бозе и Ферми. Одним из самых интуитивно понятных определений температуры является, конечно, статистическое определение: температура – мера средней кинетической энергии хаотического движения частиц системы. Тем не менее, экспериментально измерить макроскопически эту величину не представляется возможным.

Приборы, измеряющие температуру, называются термометрами. На данный момент существует несколько популярных видов термометров:

Термометры расширения. Их работа основана на принципе изменения объема вещества при нагревании. В качестве рабочего тела могут использоваться жидкости, твердые тела или газовые среды, помещённые в специальную трубку, соединённую с индикаторным устройством. Такие приборы отличаются относительной простотой конструкции и не требуют внешнего источника питания, однако их точность и скорость отклика ограничены, особенно при измерении быстро меняющихся температур. Они массово используются для бытовых нужд человека, однако неприменимы в областях, где нужна точность и скорость измерений. Также их показатели сложнее поддаются оцифровке.

Термопарные термометры работают на эффекте Зеебека, при котором в цепи из двух разных металлов возникает электрическое напряжение, если их спаи находятся при разных температурах. Измеряя это напряжение, можно определить температуру рабочего спая. Такие термометры способны работать в широком диапазоне температур и подходят для агрессивных сред, но требуют калибровки и могут давать погрешности из-за внешних помех. Их преимущество – широкий диапазон и устойчивость, а недостаток – низкая точность. Они применяются

в некоторых видах лабораторного и производственного оборудования, особенно при контакте с агрессивной средой.

В специфических условиях способны работать также *радиационные термометры*. Они измеряют температуру по интенсивности теплового излучения объекта без контакта с ним. Их преимущество – возможность дистанционного измерения, недостатки – зависимость от внешних условий и излучательной способности поверхности.

Работа *термисторных термометров* основана на использовании полупроводниковых резисторов, электрическое сопротивление которых заметно меняется при изменении температуры [1]. В зависимости от типа термистора (NTC или PTC) сопротивление уменьшается или увеличивается с ростом температуры, что позволяет точно фиксировать её значение с помощью электрических измерительных схем. Такие приборы отличаются высокой чувствительностью и быстродействием [2], но имеют ограниченный диапазон измерений и могут деградировать при длительной эксплуатации в экстремальных условиях [3]. Их преимущество – высокая точность и скорость отклика, недостаток – узкий диапазон и ограниченный срок службы.

Надо отметить, что ни один из вышеперечисленных приборов не измеряет температуру напрямую. Все они используют зависимость других измеряемых величин от температуры. При таких непрямых методах неизбежно возникает погрешность. Это важно учитывать при измерении в лабораторных, научных, космических и других системах, требующих особой точности. Для космических систем термометры расширения или радиационные термометры, очевидно, не являются оптимальным решением. Выбор между термопарой и термосопротивлением несколько более труден. Сравнению условий применения и характеристик этих двух устройств посвящено немало работ, в том числе новых и зарубежных [4]. Термопары менее чувствительны к вибрациям, чем терморезисторы. Терморезисторы точнее, и они дольше держат калибровку. Помимо этого, термосопротивление не так чувствительно к помехам за счёт большего уровня выходного сигнала. Раньше считалось, что время отклика термопары меньше, чем у термосопротивления, однако есть работы, которые говорят о том, что это верно только для лабораторных условий, а в изолирующем корпусе отклик терморезисторов может быть и меньше, чем у термопар [5].

В системах, требующих точных динамических измерений температуры, особенно в космических и метеорологических ракетах, термисторные термометры определенно заняли свою нишу. Схема для измерения температуры, предложенная в данной статье, предлагается для использования в таких системах.

PT100 – один из самых популярных термисторов. Он получил широкое применение благодаря своей простоте, точности, стойкости к вибрации, коррозии и способности работать в широком диапазоне температур [6]. Он используется в термодатчиках в самых разных областях человеческой деятельности, начиная от вентиляции, хранения продуктов и медицинских лекарств [7], зеленой энергетики [8], до сбора метеорологических данных и данных с космических аппаратов [9, 10]. Зависимость его сопротивления от температуры выражается линейно:

$$R_{PT100} = R_0 (1 + \alpha T) \quad (1)$$

где:

R_{PT100} – сопротивление термистора PT100;
 R_0 – сопротивление термистора PT100 при 0 °C;
 α – калибровочный коэффициент;

T – температура, сообщаемая термистору системой.

Вид термистора PT100 приведен на рисунке 1. Название PT100 означает, что терморезистор изготовлен из платины, и при 0 °C имеет сопротивление 100 Ом. Платиновые термисторы давно показали себя одними из лучших, они проявляют высокую стабильность и имеют широкий для термосопротивления диапазон измеряемых температур [11]. Он способен измерять температуру в диапазоне от -200 °C до +850 °C [8]. Так как такие термисторы активно используются в различных областях техники и производства, для них существуют измеренные калибровочные значения сопротивлений и температур. Тем не менее, разница в конструкции датчиков различных производителей, а также эффект нелинейности зависимости сопротивления от температуры при высоких температурах (о котором будет сказано ниже) приводят к тому, что реальные калибровочные значения могут быть индивидуальными для каждого датчика, хотя и не сильно отличаются от широко известных.

Динамически измерять сопротивление такого термистора принято при помощи классической схемы моста Уитстона (рисунок 2).

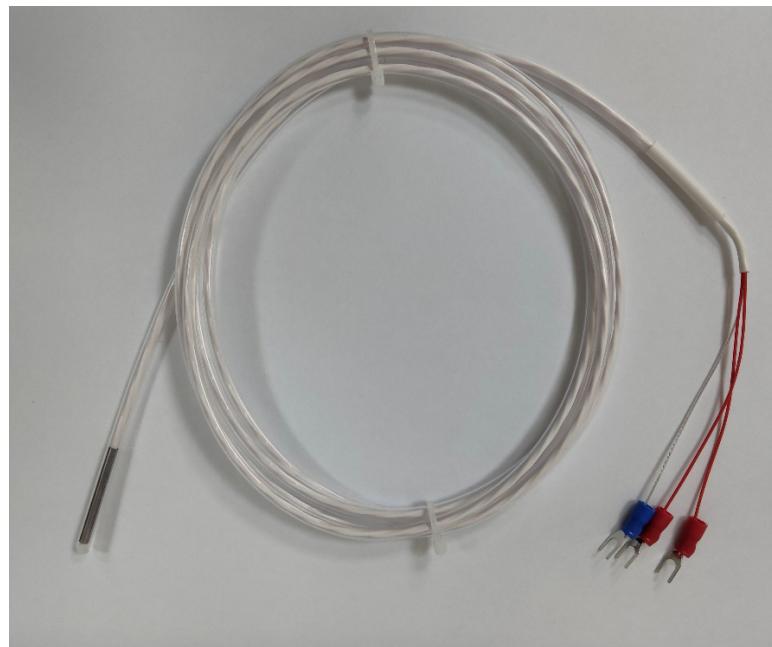


Рисунок 1 – Термистор PT100 с тремя контактами

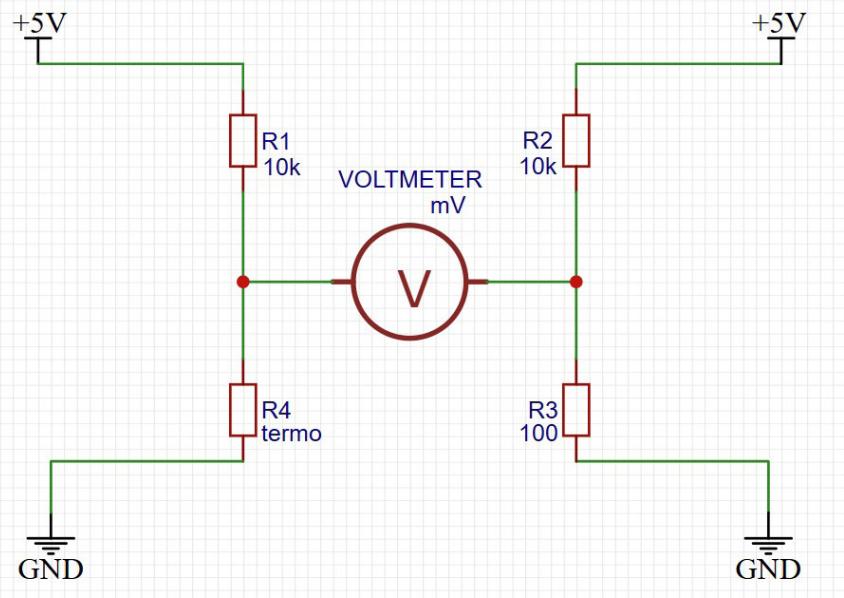


Рисунок 2 – Мост Уитстона – делитель напряжения
для измерения сопротивления терморезистора

Мост Уитстона работает как делитель напряжения на четырех резисторах. При сбалансированном мосте, зная значения трех сопротивлений, четвертое можно найти по формуле

$$R_4 = R_2 * \frac{R_3}{R_1} \quad (2)$$

Если взять за R_4 сопротивление термистора PT100, можно получать данные о сопротивлении термистора в реальном времени. Тем не менее, мост Уитстона обладает рядом ограничений. Например, чем больше температура термистора, тем больше реальная зависимость сопротивления от температуры отличается от вида (1). Эта проблема – классическая и основная проблема, возникающая при работе с датчиками термосопротивления, ей озадачены многие исследователи [12, 13]. Отдельные работы [14] показывают, что влияние эффекта самонагрева может исказять значения измеряемых температур на величины от десятых до десятков градусов. Разные конструкторы предлагают разные технические решения для этой проблемы. Так, например, некоторые ученые [6, 15] приводят нелинейные уравнения для описания зависимости сопротивления от температуры резистора в разных диапазонах температур. Другая группа [16] вместо классической схемы моста Уитстона с питанием

от источника напряжения предлагает усовершенствованную схему с питанием от источника постоянного тока. Это позволяет держать очень малые значения тока, не допуская самонагрева термистора.

Методология

В качестве исследовательского материала использовалась электронная измерительная система, разработанная на основе микроконтроллера STM32. Основными компонентами схемы являлись терморезистор PT100, обеспечивающий преобразование температуры в электрическое сопротивление; операционный усилитель LM224, применяемый для усиления аналогового сигнала; а также вспомогательные элементы, обеспечивающие корректное функционирование измерительного канала. Количественные характеристики элементов (номиналы, диапазоны измерений и классы точности) подбирались в соответствии с требованиями к стабильности и точности термометрических измерений.

Работа проводилась поэтапно. На первом этапе была разработана принципиальная электрическая схема устройства и выполнена её отрисовка в EasyEDA. На втором этапе произведена программная настройка и калибровка из-

мерительной системы с использованием языка C++ и программной среды STM32CubeIDE. В ходе работы применялись классические методы проектирования и калибровки электронных схем.

Использование комбинированного подхода – аппаратного (электронная схема) и программного (калибровка в STM32CubeIDE) – обеспечило повышение точности и воспроизводимости данных.

Этапы исследования:

1. Разработка и моделирование принципиальной схемы;
2. Проектирование и отрисовка печатной платы в EasyEDA;
3. Программирование и калибровка системы в STM32CubeIDE;

Методы исследования: схемотехническое моделирование, экспериментальная сборка, программная калибровка, сравнительный анализ полученных данных.

Результаты и обсуждение

Электронная схема

В нашей статье мы предлагаем схему для калибровки зависимости сопротивления термистора PT100 от температуры. Это позволяет не стремиться к получению линейной зависимости, а найти индивидуальную калибровочную кривую для используемого температурного датчика. Схема позволяет получить аналоговый сигнал и усилить его с помощью датчика LM224. Аналоговый сигнал в последующем подается на микроконтроллер STM32. Полученный с микроконтроллера сигнал обрабатывается в системе STM32CubeIDE, алгоритм обработки будет приведен ниже. Упрощенный вид реализуемой схемы представлен на рисунке 3.

Модификация моста Уитстона с усилением сигнала датчиком LM224 приведена на рисунке 4. Эта простая схема позволяет получить сигнал для АЦП с минимальными затратами на компоненты.

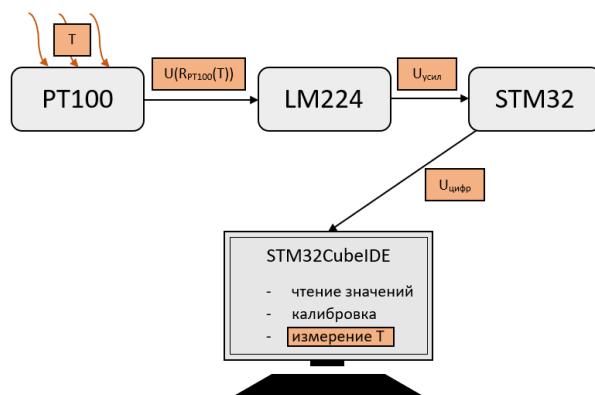


Рисунок 3 – Упрощенный вид схемы, предложенной для калибровки термистора PT100 и последующих экспериментальных измерений

Выбор операционного усилителя LM224 не случаен. Он позволяет добиться простоты и компактности схемы при возможности измерения температуры сразу тремя и даже четырьмя терморезисторами. Это может быть необходимо в переносных устройствах, в лабораторных, воздушных и космических установках, которые ограничены в размерах электронных плат и компонентов. Возможна замена усилителя на аналогичные, к примеру, LM324, что увеличивает гибкость предлагаемой схемы и её адаптируемость под индивидуальные технические решения.

Вариант данной схемы для подключения сразу трех датчиков Pt100 и усиления их через единый усилитель LM224 представлен на рисунке 5.

Обе предложенные схемы просты в сборке, а также адаптируемы под аналогичные термосопротивления, к примеру PT1000. Для этого требуется только пересчет нагрузок сопротивлений цепи. Гибкость реализации схемы позволяет внедрять её в широкий ряд лабораторных устройств самостоятельной сборки, хотя это и может быть не самым подходящим решением в случае широкомасштабного производства.

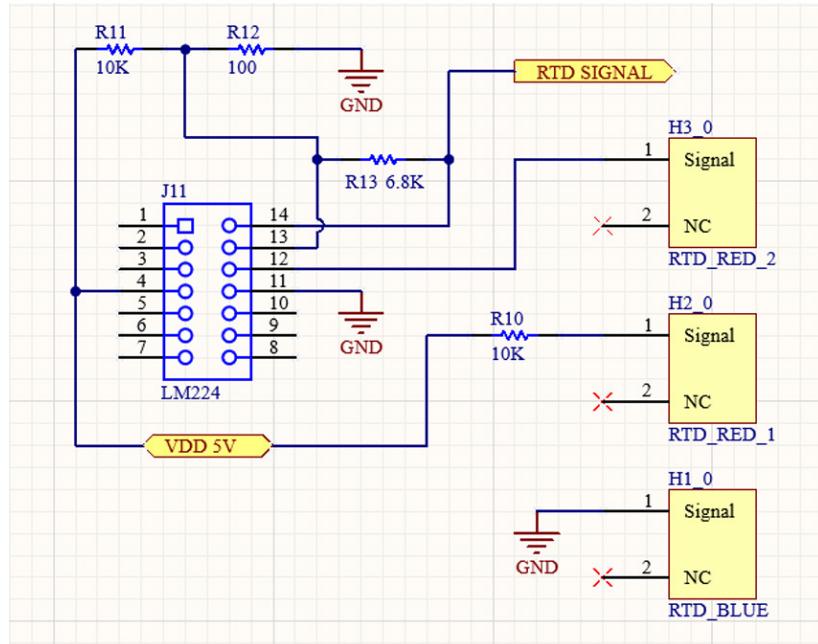


Рисунок 4 – Принципиальная электронная схема измерения температуры с помощью PT100

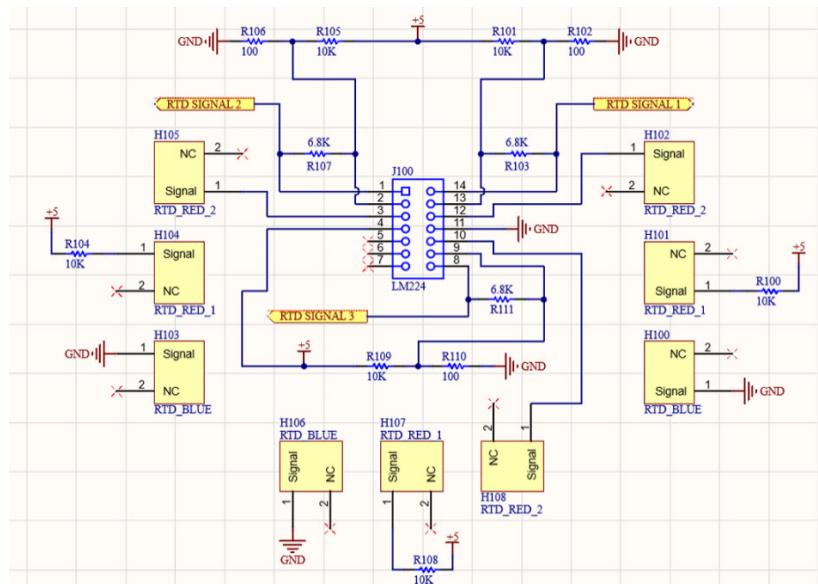


Рисунок 5 – Принципиальная электронная схема измерения температуры с помощью трёх PT100

Калибровка в STM32CubeIDE

Вышеуказанная схема позволяет получить аналоговый сигнал. Обработка этого сигнала осуществляется с помощью микроконтроллера STM32. Для взаимодействия микроконтроллера с пользователем используется интерфейс программы STM32CubeIDE. STM32CubeIDE позволяет

тактировать микроконтроллер, а также вносить дополнения и модификации в его программный код.

Программный код для микроконтроллера был написан на C++. Он содержит следующие логические блоки:

1. Создание массивов данных напряжений и температур. По умолчанию массивы заполняют-

ся известными данными для PT100 из литературы, но могут быть заданы и измеренные экспериментально пользовательские значения. Выбор напряжений, а не сопротивлений обусловлен удобством обработки данных.

2. Задание калибровочной кривой с помощью каждого двух соседних точек. Между соседними точками интерполяционная кривая линейна, а на всём диапазоне значений имеет вид ломаной. Такое приближение не позволяет описать зависимость в совершенстве, однако является допустимым компромиссом между сложными нелинейными приближениями и теоретической

линейной зависимостью. Более того, при подстановке больших массивов значений, полученных экспериментально, она наиболее точно отражает индивидуальные характеристики каждого терморезистора.

3. Организация считывания значений напряжений и подстановка полученных значений в калибровочную кривую для получения значений температур. Данный шаг дополнен функцией расширения диапазона принимаемых от АЦП значений.

Схематический вид вышеописанных блоков приведён на рисунке 6.

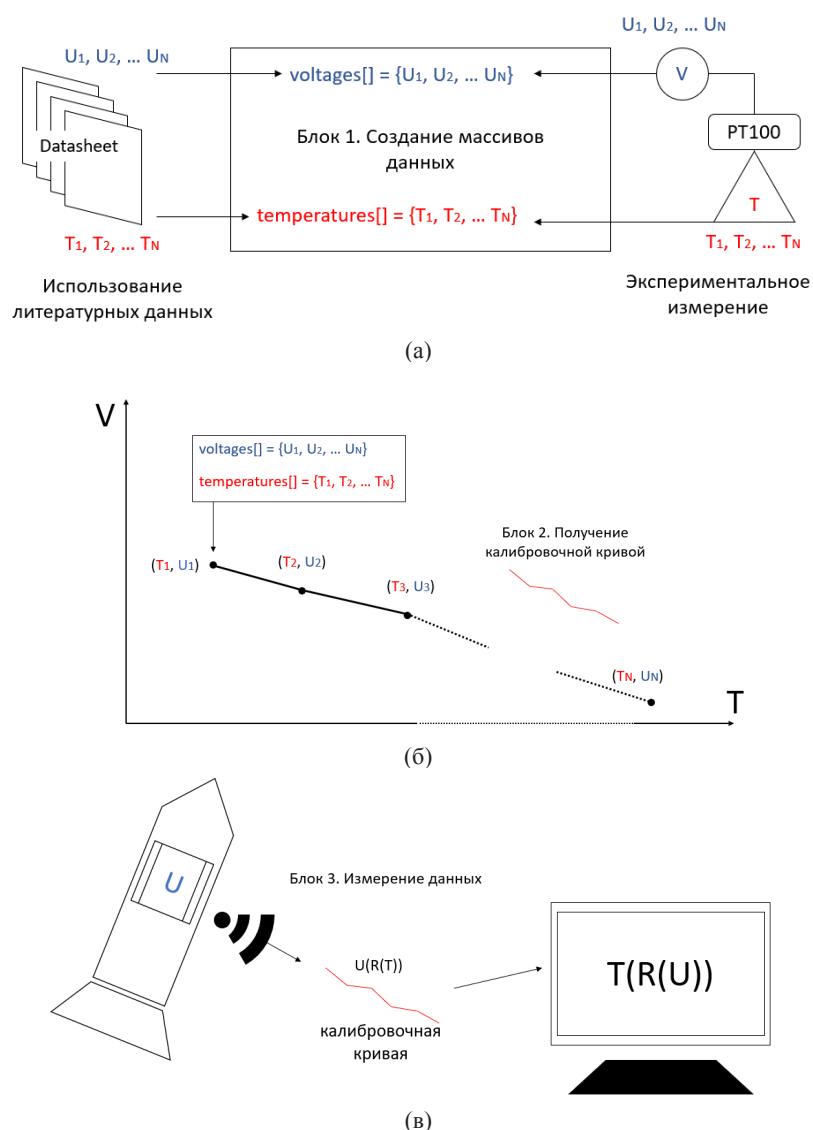


Рисунок 6 – (а) – Создание массивов и заполнение их значениями напряжений и температур, полученными экспериментально или из литературных источников, (б) – обработка массивов данных и получение калибровочной кривой для термистора PT100, (в) – использование калибровочной кривой для измерения значений температуры.

Полученные значения температуры в дальнейшем могут быть экспортованы для дальнейшей обработки.

Заключение

Проектирование электроники для эксклюзивных ракетно-космических проектов – важная часть научной и инженерной работы. Такие индивидуальные решения не только расширяют разнообразие электронных схем, но и позволяют достигать оптимизации параметров установки, предпочтительных в каждом конкретном случае. Помимо этого, они позволяют не зависеть от недоступных технологий стран, лидирующих в ракетно-космической промышленности. Предложенная схема является гибким решением для внедрения в эксклюзивные космические установки и может быть легко пересобрана под аналогичные термисторы или операционные усилители, к примеру термистор PT1000 и усилитель LM234. Алгоритм калибровки позволяет вносить экспериментально полученные значения сопротивления и температуры для каждого тер-

мистора или использовать теоретически известные значения. Помимо гибкости, сделан упор на простоту, компактность и прочность схемы, что позволяет применять её в транспортируемых воздушных системах, метеорологических и космических ракетах, подверженных тряске и нагрузкам. Развитие национальной космической промышленности в настоящее время является актуальной и остро стоящей темой, а документирование общих принципов технических решений, внедряемых в отечественные проекты, может в будущем стать основой для больших шагов в этой области.

Благодарность, конфликт интересов

Данное исследование финансируется в рамках программно-целевого финансирования научной и(или) научно-технической деятельности, Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR249008/0224).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литературы

1. Hunt L.B. The origin of the platinum resistance thermometer // *Platinum Metals Review*. – 1980. – Vol. 24, No. 3. – P. 104–112. – DOI: 10.1595/003214080X243104112.
2. Childs P.R.N., Greenwood J.R., Long C.A. Review of temperature measurement // *Review of Scientific Instruments*. – 2000. – Vol. 71. – P. 2959–2978. – DOI: 10.1063/1.1305516.
3. Dornheim T., Böhme M., Kraus D. et al. Accurate temperature diagnostics for matter under extreme conditions // *Nature Communications*. – 2022. – Vol. 13. – P. 7911. – DOI: 10.1038/s41467-022-35578-7.
4. Paydar A.Z., Zadafathollah R., Mousavi S.K., Zohuri B. Resistance temperature detector (RTD) system in nuclear power plant: a short review // *Global Journal of Research in Engineering: Electrical and Electronics Engineering*. – 2023. – Vol. 23, No. G1. – P. 1–7. – URL: <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/101569>.
5. Чистяков А. Сравнение характеристик РДТ и термопар // *Компоненты и технологии*. – 2003. – № 31. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-harakteristik-rdt-i-termopar> (дата обращения: 15.10.2025).
6. Liu J., Li Y., Zhao H. A temperature measurement system based on PT100 // *Proceedings of the 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering (iCECE)*. – Wuhan, China, 25–27 June 2010. – P. 296–298. – DOI: 10.1109/iCECE.2010.79.
7. Almubrad T. Performance of the PT100 noncontact tonometer in healthy eyes // *Clinical Ophthalmology*. – 2011. – Vol. 5. – P. 661–666. – DOI: 10.2147/OPHTHS19885.
8. Chesser R.J., Ezell N.D.B. Thermocouple and RTD drift due to neutron irradiation and temperature for space nuclear applications: a review // *IEEE Sensors Journal*. – 2025. – Vol. 25, No. 10. – DOI: 10.1109/JSEN.2025.3615405.
9. Małek M.T., Koczyk H. Influence of temperature sensor (Pt100) accuracy on the interpretation of experimental results of measuring temperature on the surface // *Civil and Environmental Engineering Reports*. – 2024. – Vol. 34, No. 4. – P. 1–21. – DOI: 10.59440/ceer/192146.
10. Chekichev A., Aleksandrov A., Popov R., Parushev A., Shehova D. High precision measurement of the air temperature using resistance temperature detector Pt100 sensor // *Proceedings of the 2025 19th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*. – Sofia, Bulgaria, 19–21 June 2025. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/ELMA65795.2025.11083416.
11. Claggett T.J., Worrall R.W., Clayton W.A., Lipták B.G. Resistance temperature detectors (RTDs) // *Temperature Measurement*. – 1st ed. – Boca Raton: CRC Press, 1993. – P. 10.
12. Li J., Pei H., Kochan O., Wang C., Kochan R., Ivanyshyn A. Method for correcting error due to self-heating of resistance temperature detectors suitable for metrology in Industry 4.0 // *Sensors*. – 2024. – Vol. 24. – Art. 7991. – DOI: 10.3390/s24247991.
13. Kochan O., et al. Correcting measurement error due to heating by operating current of resistance temperature detectors // *Proceedings of the 2023 14th International Conference on Measurement*. – Smolenice, Slovakia, 2023. – P. 296–299. – DOI: 10.23919/MEASUREMENT59122.2023.10164351.

14. Hwang I., Kim J., Bae S., Park W., Park G. Self-heating and wire resistance effects in temperature measurement using RTD sensors // *Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting*. – Jeju, Korea, 17–18 May 2018.
15. Wang W., Yang M., Yu L., Liu D. Design of PT100 high-precision temperature measurement systems based on third-order model // *Instrumentation Science & Technology*. – 2020. – Vol. 48, No. 2. – P. 118–127. – DOI: 10.1080/00150193.2020.1760616.
16. Chauhan J., Neelakantan U. An experimental approach for precise temperature measurement using platinum RTD PT100 // *Proceedings of the 2016 International Conference on Electrical, Electronics and Optimization Techniques (ICEEOT)*. – Chennai, India, 2016. – P. 3213–3215. – DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755297.

References

1. L.B. Hunt, *Platinum Metals Rev.* 24 (3), 104–112 (1980). <https://doi.org/10.1595/003214080X243104112>
2. P.R.N. Childs, J.R. Greenwood and C.A. Long, *Rev. Sci. Instrum.* 71, 2959–2978 (2000). <https://doi.org/10.1063/1.1305516>
3. T. Dornheim, M. Böhme, D. Kraus et al., *Nat. Commun.* 13, 7911 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35578-7>
4. A.Z. Paydar, R. Zadfathollah, S.K. Mousavi and B. Zohuri, *Glob. J. Res. Eng.: Electr. Electron. Eng.* 23 (G1), 1–7 (2023). <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/101569>
5. A. Chistyakov, *Komponenty i Tekhnologii* 31 (2003). <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-harakteristik-rdt-i-termopar>
6. J. Liu, Y. Li and H. Zhao, *Proc. 2010 Int. Conf. on Electrical and Control Engineering (iCECE)*, Wuhan, China, 296–298 (2010). <https://doi.org/10.1109/iCECE.2010.79>
7. T. Almubrad, *Clin. Ophthalmol.* 5, 661–666 (2011). <https://doi.org/10.2147/OPTH.S19885>
8. R.J. Chesser and N.D.B. Ezell, *IEEE Sens. J.* 25 (10) (2025). <https://doi.org/10.1109/JSEN.2025.3615405>
9. M.T. Malek and H. Koczyk, *Civ. Environ. Eng. Rep.* 34 (4), 1–21 (2024). <https://doi.org/10.59440/ceer/192146>
10. A. Chekichev, A. Aleksandrov, R. Popov, A. Parushev and D. Shehova, *Proc. 19th Conf. on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Sofia, Bulgaria, 1–4 (2025). <https://doi.org/10.1109/ELMA65795.2025.11083416>
11. T.J. Claggett, R.W. Worrall, W.A. Clayton and B.G. Lipták, *Temperature Measurement*, CRC Press, Boca Raton (1993), p. 10.
12. J. Li, H. Pei, O. Kochan, C. Wang, R. Kochan and A. Ivanyshyn, *Sensors* 24, 7991 (2024). <https://doi.org/10.3390/s24247991>
13. O. Kochan et al., *Proc. 14th Int. Conf. on Measurement*, Smolenice, Slovakia, 296–299 (2023). <https://doi.org/10.23919/MEASUREMENT59122.2023.10164351>
14. I. Hwang, J. Kim, S. Bae, W. Park and G. Park, *Trans. Korean Nucl. Soc. Spring Meeting*, Jeju, Korea (2018).
15. W. Wang, M. Yang, L. Yu and D. Liu, *Instrum. Sci. Technol.* 48 (2), 118–127 (2020). <https://doi.org/10.1080/00150193.2020.1760616>
16. J. Chauhan and U. Neelakantan, *Proc. 2016 Int. Conf. on Electrical, Electronics and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, India, 3213–3215 (2016). <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755297>

Сведения об авторах:

Подопригора Андрей – студент Университета штата Аризона (Аризона, США, e-mail: podoprigora04@gmail.com).

Тастайбек Динара Темирхановна (корреспондентный автор) – научный сотрудник АО «НЦКИТ» (Алматы, Казахстан, e-mail: dinaratastaibek@yandex.ru).

Жалымбетова Іңқөр – инженер-конструктор АО «НЦКИТ» (Алматы, Казахстан, e-mail: i.zhalymbetova@spacceres.kz).

Саметов Диас Ерікұлы – научный сотрудник АО «НЦКИТ» (Алматы, Казахстан, e-mail: d.sametov@spacceres.kz).

Information about the authors:

Andrey Podoprigora – student at Arizona State University (Arizona, USA, e-mail: podoprigora04@gmail.com)

Dinara Temirkhanovna Tastaybek (corresponding author) – researcher at JSC «NCKIT» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dinaratastaibek@yandex.ru);

İñkar Zhalymbetova – design engineer at JSC «NCKIT» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: i.zhalymbetova@spacceres.kz)

Dias Erikuly Sametov – researcher at JSC «NCKIT» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.sametov@spacceres.kz)

Авторлар туралы мәлімет:

Подопригора Андрей – Аризона штаты университетінің студенті (Аризона, АҚШ, e-mail: podoprigora04@gmail.com)

Тастайбек Динара Темірхановна (корреспондент автор) – АҚ «НЦКИТ» гылыми қызметкери (Алматы, Қазақстан, e-mail: dinaratastaibek@yandex.ru)

Жалымбетова Іңқөр – АҚ «НЦКИТ» инженер-құрастырушысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: i.zhalymbetova@spacceres.kz)

Саметов Диас Ерікұлы – АҚ «НЦКИТ» гылыми қызметкери (Алматы, Қазақстан, e-mail: d.sametov@spacceres.kz)

Поступила на рассмотрение 20.10.21

Принята 08.12.25

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

Сомсиков В.М.	
Структурность материи в физике	3
Солодовник А.А., Усенинов Б.М., Гололобова Е.Г., Солодовник Н.П., Сизоненко С.А.	
Противоречие «сущее – должно» и искусственный интеллект как инструмент его преодоления в социально-экономических моделях	17
Жумадилов К.Ш., Жадыранова А.А., Байгазинов Ж.А., Аншокова Д.К., Мухамедияров Н.Ж.	
Температуралық инверсиялар және олардың Павлодар қаласындағы ауа ластанауына әсері.....	27
Амренова А.У., Жукешов А.М., Салимов Е.Е., Абдыбай У.Б., Пшиков М.И.	
Особенности распыления высоконтропийного сплава плазмой вакуумной дуги и испытание в электролите	35
Nurulina A., Bergaliyeva S., Akylbayeva A., Yerezhep D	
Evolution of methods for ensuring the quality of technical accounting of thermal energy in open energy systems of the Republic of Kazakhstan	44
Гусейнов Ш.Ш., Гусейнов С.Ш.	
Исследование динамики фрактальных характеристик микроволнового излучения мощных солнечных протонных вспышек	59
Подопригора А., Тастанбек Д.Т., Жалымбетова I., Саметов Д.Е.	
Разработка и калибровка электронной схемы для измерения температуры элементов ракетно-космической техники на основе термистора PT100	68