

#12 (28), 2017 część 2

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**

(Warszawa, Polska)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

#12 (28), 2017 part 2

**East European Scientific Journal**

(Warsaw, Poland)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College  
London)**  
**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie  
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo  
Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College  
London)**  
**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-  
001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-  
land

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Доник В.Д.</b> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В КАБИНЕ ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТСЕКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА .....	4
<b>Rovin S.L., Kalinichenko A.S.,</b> A NEW METHOD OF RECYCLING OF PARTICULATE IRON-CONTAINING WASTES - THE WAY TO CREATION OF NON-WASTE PROCESSING AND UTILIZATION OF METALS IN INDUSTRY.....	12
<b>Браженко В.Н.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧИСТКИ ЖИДКОСТИ РОТАЦИОННЫМ ФИЛЬТРОМ.....	17
<b>Лопатин В.Ю, Еремеева Ж.В, Панов В.С., Мякишева Л.В., Воротыло С., Ковалев А.Ю, Морозова Е.В.,</b> ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК ИЗ МЕХАНОСИНТЕЗИРОВАННОГО ПОРОШКА ТИТАНАТА ДИСПРОЗИЯ.....	22
<b>Леонов В.Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАЩИТЕ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ. ....	30
<b>Андреев В.С., Мосичева И.И., Шаповал В.Г.</b> ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ, КОГДА ПОВЕРХНОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗВЕСТНА ЗАРАНЕЕ.....	39
<b>Радзівілов Г.Д., Фесенко О.Д.</b> АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТОМ ПОЛЬОТОМ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ .....	45
<b>Дергунов С.А., Спирина А.Ю., Юкова К.В.</b> ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	49

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Чесноков А.М.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ОТНОШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ КОЛОНОК .....	52
<b>Саврухин А.П.</b> СУЩНОСТЬ СВЕТА.....	57

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Доник В.Д.**

кандидат технических наук,

Государственное предприятие «АНТОНОВ»

**Donik V.D.**

cand.tech.sci.

ANTONOV company

### **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА В КАБИНЕ ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТСЕКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА METHOD OF DETERMINING AIR PARAMETERS IN THE CABIN WHEN DISCHARGEING THE COMPARTMENT OF THE AIRCRAFT**

**Summary:** For the first time, a method is presented for determining the air parameters in the cabin when the aircraft compartment is depressurized. The results of studies of processes in aircraft cabinets are generalized and the main provisions for determining the gas parameters in the compartment are formulated, taking into account the flow of gas through the leaks of the hermetic cabin. The regimes of gas flow in the compartment are determined for the supply, removal of gas and mixing of gases. An algorithm for determining the integral and local gas parameters in the compartment is presented. The comparison of the developed method with the existing methods is made.

*Key words:* airplane, sudden depressurization, mathematical model, gas dynamics.

**Аннотация:** Впервые представлен метод определения параметров воздуха в кабине при разгерметизации отсека летательного аппарата. Обобщены результаты исследований процессов в кабинах летательных аппаратов и сформулированы основные положения определения параметров газа в отсеке с учетом перетекания газа через неплотности герметической кабины. Определены режимы течения газа в отсеке при подводе, отводе газа и смешении газов. Представлен алгоритм определения интегральных и локальных параметров газа в отсеке. Проведено сопоставление разработанного метода по сравнению с существующими методами.

*Ключевые слова:* летательный аппарат, внезапная разгерметизация, математическая модель, газовая динамика.

#### **Постановка проблемы**

Задача об исследовании процессов при сжатии и расширении потока является одной из основных задач в гидродинамике и газодинамике. Изучение движения жидкости и газа производится в соответствии с методами Лагранжа и Эйлера [1]. В методе Лагранжа изучается движение каждой отдельной частицы или выделенного объема. Движение газа может быть определено, если известны уравнения траектории движения каждой частицы во времени. Несмотря на широкое применение разработанных методов и принятых допущений при их обосновании, описать изменение параметров газа в отсеке ЛА зачастую ограничено или практически невозможно осуществить. Так, например, в отсеке ЛА имеется подвод и отвод газа (энергии), который в разработанных методах не учитывается. Для реальных отсеков имеются перетекания газа через неплотности фюзеляжа (утечки). Без определения утечки из герметической кабины летательного аппарата (ЛА) не может быть сдан в эксплуатацию. Поэтому разработка метода для определения параметров газа в кабине ЛА представляет собой научную проблему, которая имеет практическое значение и оказывает существенное влияние на безопасность членов экипажа и пассажиров.

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

На основании метода Эйлера в движущейся жидкости выделяют два сечения (элементарные площадки). Через все точки площадки проводят линии тока. Объемный пучок линий тока образует элементарную струйку, а его боковая поверхность - трубку тока. «Важнейшим свойством трубки тока является непроницаемость ее боковой поверхности для движущихся частиц жидкости» [2 стр. 34]. Для описания изменения параметров жидкости между сечениями используют контрольные объем и поверхность. В соответствии с [1, стр. 65] «...внутренние ее части не рассматриваются – они были выделены лишь для обоснования метода». Для нестационарных потоков «...траектории жидких частиц не совпадают с линией тока» [2, с. 29]. При выводе уравнения Бернулли в каждом сечении рассматриваются параметры объема (например, плотность жидкости) [3, с. 22-23]. Сечение представляет собой плоскую фигуру, а рассматриваются параметры, которые включают три пространственные координаты (объем). Несмотря на проведенные исследования функции Бернулли и установленный принцип максимума [4], влияние принятых допущений на результаты моделирования при использовании метода Эйлера не достаточно изучены. Использование метода Эйлера для определения параметров газа в отсеке ЛА не представляется

возможным, что приводит к необходимости проведения дополнительных исследований и разработки новых методов.

На основе метода Эйлера были разработаны различные математические модели. В работе [5] рассматривается модель течения жидкости на основе уравнений Навье-Стокса. Отмечается, что метод расчета осредненных по числу Рейнольдса уравнений Навье-Стокса имеет наиболее совершенную модель течения, за исключением представления крупных вихрей или при моделировании точечного источника [6]. Однако применение этой модели для решения связанных с аэроупругостью проблем требует вычислительных затрат, которые лежат за пределами возможностей на этапе предварительного проектирования. Дополнительно имеются сложности в формировании постановки задачи и быстродействием работы алгоритмов нестационарных процессов [7].

В работе [8] впервые установлены основные положения разработки математической модели газодинамических процессов истечения воздуха из отсека с учетом априорной информации. Разработанная математическая модель устанавливает зависимость между давлением, плотностью, температурой, подведенной и отведенной энергии воздуха в отсеке и при их изменении. Представлены результаты расчета и эксперимента давления воздуха в отсеке ЛА при наличии перетекания воздуха через неплотности фюзеляжа. Показаны преимущества и недостатки разработанной модели.

В работе [9] впервые обобщены и представлены основные принципы, законы, уравнения, правила и способы для определения воздуха внутри отсека при разгерметизации, включая внезапную. Представлены результаты численных и экспериментальных исследований влияния показателя политропы и площади отверстия (круглое, типа «пробка», «щель», «рваное») на результаты моделирования давления воздуха во времени. Погрешность результатов расчета давления воздуха в отсеке в соответствии с разработанной математической моделью с постоянным показателем политропы составила 5,2%, пульсаций давления воздуха – 10,2%.

Анализ опубликованных работ показывает, что описание процессов движущегося газа в соответствии с методом Эйлера не учитывает подвод, смешение, отвод, утечки газа. Имеются трудности решения задач при задании граничных условий. Необходимость рассмотрения таких процессов, режимов течения газа особенно проявляется при подводе воздуха в кабину ЛА от нескольких источников сжатого воздуха, смешение воздуха и сброса его в атмосферу. Поэтому разработка основных положений для определения параметров газа в отсеке ЛА имеет теоретическое и практическое значение.

#### **Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы**

В результате анализа опубликованных работ установлено, что в работах рассмотрены основные положения разработки математической модели га-

зодинамических процессов различных случаев истечения газа из отсека, разгерметизации отсека при переменной и постоянной площади выходного отверстия. Рассмотрены режимы течения газа в отсеке из условия движущейся среды без учета параметров отсека. Авторами работ были сформулированы основные положения определения параметров движущейся среды, основные законы (сохранения энергии, массы вещества, количества движения) и получены основные уравнения (например, состояния газа). Несмотря на это, в опубликованных работах не достаточно определены режимы течения газа в отсеке, что зачастую усложняет описание процессов и не позволяет производить инженерный анализ газодинамических процессов в отсеке. Ограничимся преимущественно описанием процессов в отсеке, которые определены в соответствии с требованиями АП-25, JAR-25, CS-25, FAR-25. Для расширения области решаемых задач необходимо рассмотреть изменение параметров газа в соответствии с политропным процессом.

#### **Цель статьи**

Обобщить результаты исследований и сформулировать основные положения определения параметров воздуха в кабине при разгерметизации отсека ЛА (в дальнейшем метод отсека).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформулировать основные положения определения параметров газа в отсеке.
2. Исследовать интегральное и локальное значение параметров газа в отсеке. Разработать алгоритм определения локальных значений параметров газа в отсеке
3. Провести сравнительную оценку метода отсека по сравнению с другими методами, например, методом Эйлера.

#### **Изложение основного материала**

Кабина ЛА представляет собой сложный физический объект, в котором протекают газодинамические и аэроакустические процессы. Учитывая это определим основные этапы и сформулируем основные положения определения параметров воздуха в кабине при разгерметизации отсека ЛА в соответствии с требованиями, например АП-25, JAR-25, CS-25, FAR-25.

Для определения параметров газа в кабине производится анализ конструкторской документации ЛА. На основании предъявляемых требований к ЛА разрабатываются требования к кабине и методам ее расчета. Исходя из предъявляемых требований к ЛА, кабина разделяется на отсеки. Для каждого отсека устанавливается зависимость полного давления газа в отсеке ( $P_0$ ) от массы газа в отсеке ( $m$ ), температуры в заторможенном потоке ( $T_0$ ), объема ( $V$ ), показателя политропы ( $n$ ), массового (объемного) расхода подводимого

$\left(G_1 = \sum_{i=1}^z G_i\right)$  и отводимого  $\left(G_2 = \sum_{j=1}^p G_j\right)$  газа, подведенной  $\left(q_1 = \sum_{k=1}^c q_k\right)$  и отведенной  $\left(q_2 = \sum_{d=1}^h q_d\right)$  энергии, внутренней и внешней работы  $\left(l = \sum_{s=1}^b l_s\right)$ , высоты полета (H), давления  $(P_{ат.м.})$ , плотности  $(\rho_{ат.м.})$ , температуры  $(T_{ат.м.})$  атмосферного воздуха или смежного отсека, параметров пульсации газа  $(P_g, T_g, \rho_g)$  во времени  $(\tau)$ . Зависимости между параметрами будут иметь следующий вид:  $P_0 = f(m, T_0, V, n, G_1, G_2, q, l, H, P_g, T_g, \rho_g, \tau)$ , где z, p, c, h, b – количество источников в отсеке;  $G_i = f_1(F, P_0, T_0, q, l, P_{ат.м.}, n, A)$ ;  $G_j = f_2(F, P_0, T_0, q, l, P_{ат.м.}, n, A)$  A – коэффициент;  $F = f_2(P_0, P_{ат.м.}, \alpha, \tau)$  – площадь выходного отверстия;  $\alpha$  – угол поворота регулирующего устройства;  $q = q_1 - q_2$ . Выбор зависи-

мости между параметрами производится через параметры в заторможенном потоке, которые непосредственно используются для оценки целостности конструкции. Выбор одномерной, двумерной или трехмерной модели определяется в зависимости от поставленной задачи при проектировании отсека и уровня разработанности отсека. В самом общем виде модель отсека представлена на рис. 1. Для установления зависимостей между выше указанными величинами реальных отсеков определяются основные конструктивные элементы, геометрические размеры и основные функции исследуемой кабины, отсеков, места установки агрегатов перепуска воздуха между отсеками и режимы их работы, площади для перетекания воздуха между отсеками, выпускного клапана (ВК) и т.д. Разрабатываются модели ВК и узлов перепуска газа между отсеками. Определяются начальные значения параметров газа (давление, температура, влажность) внутри отсеков и атмосфере. По результатам изучения встретившихся на практике случаев разрушения шин определяется модель повреждения колеса и шины [10, 11]. Представляется возможным сформулировать исходные данные с учетом нормативных требований, которые предъявляются к кабине, отсеку и ЛА, грузовым и багажным отсекам, шуму и вибрации в кабине экипажа, защищенности конструкции отсека от взрыва пневматика.

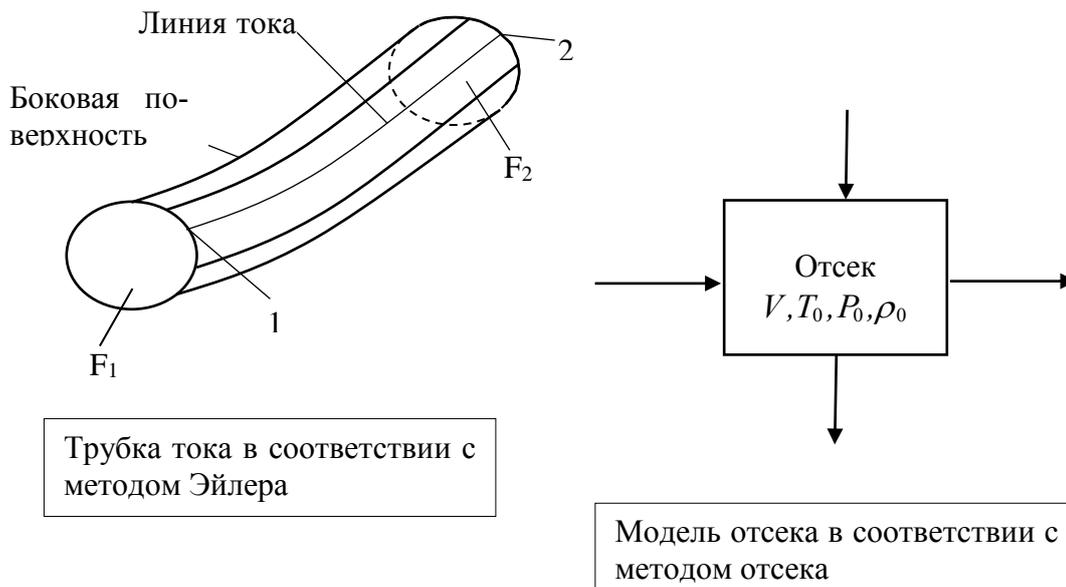


Рисунок 1. Трубка тока и модель отсека для определения параметров движущегося газа: 1, 2 – исследуемые точки на линии тока;  $F_1, F_2$  – исследуемые сечения;  $V$  – объем отсека;  $T_0, P_0, \rho_0$  – температура, давление, плотность газа в заторможенном потоке соответственно;  $G_1$  – расход подводимого газа;  $G_2$  – расход отводимого газа;  $q_1$  – подведенная энергия;  $q_2$  – отведенная энергия;  $l$  – внутренняя и внешняя работы; z, p, c, h, b – количество источников в отсеке

$$G_1 = \sum_{i=1}^z G_i$$

$$l = \sum_{s=1}^b l_s$$

$$q_1 = \sum_{k=1}^c q_k \quad q_2 = \sum_{d=1}^h q_d$$

$$G_2 = \sum_{j=1}^p G_j$$

На основании сформулированных начальных исходных данных разрабатывается структурная схема отсеков ЛА (например, представленной в работе [12]). Несмотря на то, что нормативные требования допускают объединение отсеков, необходимо указывать все отсеки, которые максимально отражают назначение и функциональные характеристики кабины. Определяется закон изменения давления воздуха в кабине и изменение параметров газа. Анализ структурной схемы отсеков позволяет сформулировать исходные данные подводимого и отводимого газа, подводимой и отводимой энергии в отсек(и). Определяется величина нормируемого максимального отверстия. Определяются расчетные случаи, которые включают исходные параметры газа в отсеке, высоту полета, величину отверстий и их характеристики для перетекания газа между отсеками, варианты течения газа и подача газа в отсек от внешних источников, режимы полета ЛА (эксплуатация кабины в штатном режиме, экстренное снижение на безопасную высоту, разгерметизация ГК, внезапная разгерметизация и др.). Разработка структурной схемы и определение расчетных случаев позволяет сформулировать обобщенные исходные данные для проведения газодинамических расчетов отсеков ЛА по обеспечению требованиям нормативных документов. Анализ структурной схемы показывает, что кабина ЛА представляет собой сложную термодинамическую систему (ТДС) [13, с. 47].

На результаты моделирования физических явлений оказывает влияние выбор системы координат [14]. Поэтому для моделирования газодинамических процессов выбор системы координат может включать следующие операции:

а) на основании накопленного теоретического и практического опыта решения данного класса задач или на основании интуиции исследователя определяется система(ы) координат. Производится выбор предпочтительных параметров, которые отражают основные свойства исследуемого процесса;

б) относительно выбранной системы координат проводятся исследования основных закономерностей и определяется модель физического явления;

в) по результатам оценки результатов эксперимента и модели определяется предпочтительная система(ы) координат.

Для оценки предложенного выбора системы координат необходимо провести исследования вли-

яния выбора системы координат на результаты моделирования процесса газа в отсеке. Установить, как оказывают влияние параметры газа в разрабатываемой модели и выбранной системы координат на результаты моделирования. Отдается предпочтение той системе координат, на основании которой разработанная модель адекватно описывает исследуемый процесс.

На изменение параметров газа в отсеке оказывают влияния процессы перетекания газа из одного отсека в другой. Перетекание газа происходит через различные регулировочные или дроссельные устройства. Поэтому для этих устройств необходимо провести комплексные газодинамические и аэроакустические исследования. По результатам исследований установить закономерности изменения расхода газа и уровней звукового давления (УЗД) от основных параметров исследуемых устройств. На основании полученных экспериментальных данных представляется возможным разработать математическую модель расхода газа через параметры торможения.

Устанавливается зависимость между давлением, температурой и плотностью газа в отсеке в соответствии с законами сохранения массы, энергии и переменной массы вещества. При этом используется уравнение состояния, а отсек рассматривается в виде закрытой или открытой ТДС. Параметры газа в отсеке изменяются по политропе. Показатель политропы определяется на основании статистических критериев (например, коэффициент множественной корреляции, Фишера, Кохрена) по результатам сопоставления расчета и эксперимента. Использование уравнений политропы позволяет расширить круг решаемых задач. Для оценки силового воздействия газа на экран записывается уравнение количества движения. Предполагается, что за исследуемый промежуток времени показатель политропы является постоянной величиной ( $n = const$ ). Это предположение проверяется сопоставлением результатов расчета и эксперимента. Определяется оптимальный показатель политропы, в соответствии с которым представляется возможным с помощью разработанной модели описать изменение параметров газа в отсеке с достаточной для практики точностью для модели и натурального образца.

Разработку математической модели изменения параметров газа в отсеке необходимо производить при условии того, что отсек рассматривается в виде закрытой или открытой ТДС. Для закрытой ТДС устанавливается зависимость между давлением, температурой, плотностью при совершении внутренней работы и изменении параметров газа по политропе. Такая зависимость между параметрами позволяет описать изменение параметров внутри ТДС. Разработка математической модели через энтропию и параметры газа в заторможенном потоке позволяет описать процессы в отсеке при равенстве параметров движущегося и заторможенного потоков ( $P = P_0, T = T_0$ ) и при  $P \neq P_0, T \neq T_0$

. Для открытой ТДС разработанные математические модели описывают не только процессы внутри отсека, но и процессы взаимодействия газа внутри отсека с окружающей средой. Учитывая сложность таких процессов в реальном отсеке ЛА необходимо разработать модели по экспериментальным данным. На основании открытой и закрытой ТДС разрабатываются математические модели реальных процессов при изменении параметров газа по полнотроне. Для повышения точности оценок разработанных математических моделей при наличии погрешностей в измеряемых величинах в соответствии с МНК необходимо использовать помехоустойчивые методы [15].

Необходимо провести исследования по разработке математической модели процессов в реальном отсеке, которые имеет утечки. Для разработки такой зависимости необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования. Разрабатывается модель при истечении газа через отверстие переменной площади. Проведенные теоретические исследования позволят получить частные решения, которые могут быть использованы для проверки разработанных моделей. На основании установленных характеристик утечек представляется возможным разработать математические модели реальных процессов в отсеках ЛА, которые адекватно описывают процессы в отсеке.

Параметры газа в отсеке определяются в соответствии с уравнением состояния. Изменение этих параметров происходит при подводе или отводе газа. На изменение параметров газа в отсеке существенное влияние оказывает режим течения газа. Для исследуемого отсека с параметрами  $(P_0, m, T_0, V)$  при подводе газа  $(P_{nod}, m_{nod}, T_{nod}, V_{nod})$  определим в самом общем виде режим течения по изменению параметров в соответствии с уравнениями:

$$а) \frac{dP_0}{d\tau} = \frac{d(f_1(m, T_0, V))}{d\tau} \quad \text{при}$$

$$V = const;$$

$$б) \frac{dP_{nod}}{d\tau} = \frac{d(f_2(m_{nod}, T_{nod}, V_{nod}))}{d\tau} \quad \text{при}$$

$$V_{nod} = var.$$

Расчет параметров газа в отсеке и подаваемого производится в соответствии с представленными уравнениями до выполнения условий с заданной точностью:  $P \approx P_{nod}$ ,  $\rho \approx \rho_{nod}$ ,  $T \approx T_{nod}$ . При невыполнении одного из этих условий, пара-

метры газа в отсеке изменяются во времени и являются нестационарными. В соответствии же с методом Эйлера нестационарный режим течения определяется по условию, когда линии тока не совпадают с траекториями движения частиц [2, с. 29]. Эти процессы протекают при подводе и отводе энергии, неравномерности параметров газа по объему отсека, конденсации влаги, деформации отсека. Характер изменения параметров газа в отсеке зависит от отношения параметров подаваемого газа к

$$\text{параметрам газа в отсеке} \left( \frac{P_{nod}}{P}, \frac{T_{nod}}{T}, \frac{\rho_{nod}}{\rho} \right).$$

При достижении значений параметров газа в отсеке критических величин и выше образуется критический режим течения газа. Критический режим также образуется при отношении объемов  $(V_{nod}/V)$ . Установление таким образом зависимости между параметрами подаваемого газа и газа в отсеке позволяет определить режим течения и повысить уровень знания об исследуемых процессах. В опубликованных же работах [2, 17] определяется режим движущегося газа, а не взаимодействие различных газов. Аналогично определяют режим течения в отсеке при отводе газа из отсека.

В соответствии с разработанной математической моделью необходимо провести сопоставление результатов расчета и эксперимента, определить адекватность модели. Если же с помощью разработанной модели не представляется возможным описать равномерность распределения параметров газа по объему отсека, то производят разделение отсека на подотсеки (подобъемы) в соответствии с алгоритмом, который представлен на рис. 2.

В соответствии с [16] при внезапной разгерметизации определяются интегральные значения параметров газа по объему отсека во времени. По результатам сопоставления результатов расчета и эксперимента определяется адекватность разработанной модели. Если модель не удовлетворяет статистическим критериям, то производится поиск локальных значений параметров газа в отсеке в соответствии с алгоритмом, который представлен на рис. 2. Поиск решения производится итерационным путем. На каждом шаге производят деление отсека на  $i$  подотсеков. Количество подотсеков может составлять от двух до максимального значения. На каждом шаге количество подотсеков может быть постоянной величиной или переменной. Деление отсека (подотсека) производится до тех пор, пока не будет достигнуто выполнение условия адекватности модели по изменению давления газа в отсеке

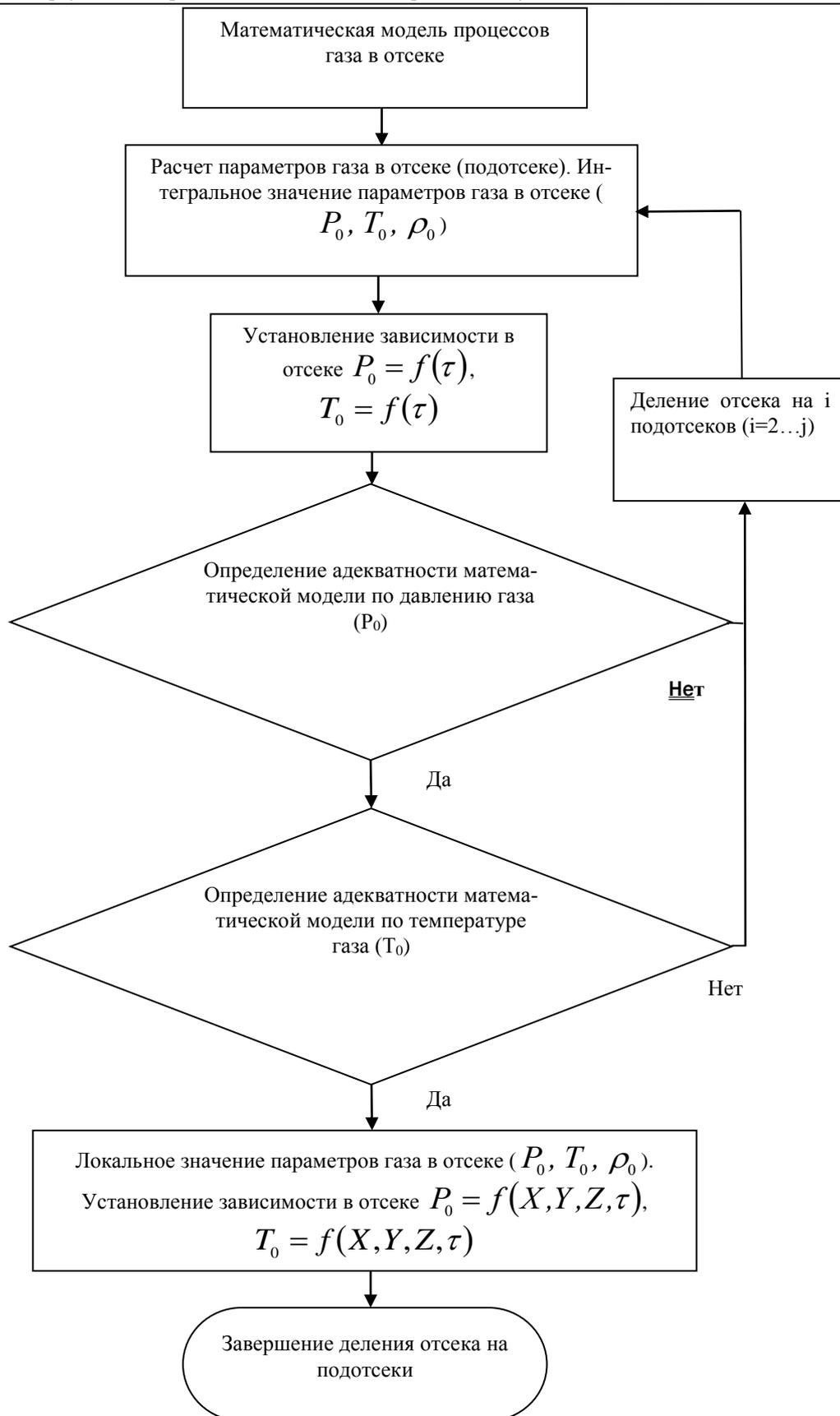


Рис. 2. Алгоритм определения локальных значений параметров газа в отсеке

во времени. Так как, за основу модели взято уравнение состояния, то для получения несмещенных оценок необходимо дополнительно производить проверку модели по плотности или температуре газа. Температура газа измеряется стандартным оборудованием. Поэтому производится проверка адекватности модели по температуре газа. Деление отсека производится аналогично, как и при оценке модели по давлению. После получения адекватной модели по давлению и температуре в каждом подотсеке определяются локальные значения параметров газа. На основании полученных результатов устанавливают зависимость изменения давления и температуры газа в отсеке во времени. Необходимость проведения двух уровней проверки адекватности модели подтверждается результатами исследований моделей для натуральных отсеков при определении давления и времени аварийной разгерметизации кабины самолета. На выбор значения количества ( $i$ ) подотсеков оказывает влияние неравномерность параметров газа по отсеку. Проведены исследования при истечении газа из отсека на экран показали, что при делении отсека на каждом шаге на два подотсека ( $i=2$ ) и при количестве подотсеков 16000 разработанная модель описывает исследуемый процесс с достаточной для практики точностью. Деление отсека на подотсеки позволяет повысить точность разработанной модели и определить локальное значение параметров газа в отсеке.

При истечении газа из «большого» отсека деление отсека на подотсеки не производится. Для такого отсека выполняются условия  $P_0 = P, T_0 = T, \rho_0 = \rho$ . В этом отсеке совпадают локальные и интегральные значения параметров газа. В работах [4 - 7] на основании уравнений Навье-Стокса и Эйлера эта задача решается другим путем. Интегральное значение параметров элементарной струйки получено при интегрировании локальных значений параметров газа вдоль линии тока. В соответствии с разработанным методом в качестве исходных данных является интегральное значение параметров газа по отсеку (объему). Локальное же значение параметров газа определяют путем деления отсека на подотсеки, что позволяет существенно упростить описание процессов в отсеке.

Давление газа в отсеке является функцией многих переменных величин. Вид функции и значения переменных величин существенно зависят от исследуемых процессов в отсеке и решаемых задач. Для определения параметров газа в отсеке необходимо задать расчетные случаи. Это позволяет сократить объем исследований. Расчетные случаи определяются в соответствии с нормативными требованиями АП-25, JAR-25, CS-25, FAR-25, которые включают начальное значение параметров газа (давление и температура) внутри и снаружи отсека, объем(ы) отсека(ов), наличие подводимой и отводимой энергии, площадь отверстия между отсеками для перетекания газа, расход воздуха от СКВ, величину нормируемого отверстия, высоту полета и режимы изменения высоты полета, режимы работы

СКВ и ВК, режимы истечения воздуха из отсека в атмосферу или смежный отсек (образование отверстия с помощью дверей, люков, кранов, ВК, при разрушении конструкции отсека, разгерметизации отсека, внезапной разгерметизации отсека, взрыве пневматика шасси) и др. Для всех заданных расчетных случаев проводится газодинамический расчет изменения параметров газа в отсеках ЛА. Полученные расчетные значения параметров газа в отсеках используются для установления закономерностей в отсеке и оценки целостности конструкции ЛА. На основании полученных расчетных значений параметров газа в исследуемых отсеках определяются параметры газа в кабине и разрабатываются методы, способы и средства для оценки целостности конструкции ЛА.

В качестве недостатка можно отметить следующее. Первоначально предполагается, что параметры газа в исследуемом отсеке равномерно распределены по объему. При относительно малой скорости движения среды и «большом» объеме это условие зачастую выполняется. При увеличении скорости и достижении околосвуковых скоростей условие нарушается и приводит к увеличению объема расчетов по определению локальных параметров газа в соответствии с рис. 2. В этом случае разработанный метод по объемам проведения расчетов приближается к расчетам в соответствии с моделью Навье-Стокса. Кроме того, определение параметров в соответствии с разработанным методом не учитывает вязкость среды. Несмотря на это в соответствии с разработанным методом представляется возможным установить зависимость между параметрами с достаточной для практики точностью.

По сравнению с методом Эйлера разработанный метод отсека содержит (трубка тока и модель отсека представлены на рис. 1):

1. Вместо контрольного объема (образованного линиями тока), который был выделен для обоснования метода, используется отсек, заполненный газом. К отсеку подводится (отводится) газ, энергия. Отсек по размерам и конфигурации ограничений не имеет. Исследуются процессы газа в отсеке, для которых записываются основные уравнения газодинамики и аэроакустики.

2. Исследуемые параметры газа непосредственно отнесены к объему отсека (подотсеку).

3. По интегральным значениям параметров газа в отсеке определяют их локальные значения.

4. Газодинамические процессы в отсеке описываются с учетом подводимого и отводимого, смешения и выравнивания параметров газа во времени.

5. Разработка математической модели процесса газа в отсеке производится с учетом совершенной внутренней и внешней работы.

6. Режимы течения газа определяются путем сопоставления параметров подводимого (отводимого) и находящегося газа в отсеке.

7. Отсек рассматривается в виде закрытой и открытой ТДС.

8. Для каждого расчетного случая проводится расчет и анализ изменения давления газа в отсеках во времени и по высоте полета ЛА, что позволяет

определить максимальные(предельные) перепады давления на исследуемую конструкцию отсека.

По сравнению с [17] разработанный метод содержит:

1. Газодинамические процессы в отсеке рассматриваются с учетом выравнивания параметров газа во времени в исследуемом отсеке.

2. Разработка математической модели процесса в отсеке производится по параметрам заторможенного потока с учетом совершения внутренней(внешней) работы.

3. Определение режима течения газа производится путем сопоставления параметров газа подаваемого(отводимого) и находящегося в отсеке.

4. Отсек рассматривается в виде закрытой и открытой ТДС.

5. Для каждого расчетного случая проводится расчет и анализ изменения давления газа в отсеках во времени и по высоте полета ЛА, что позволяет определить максимальные давления и перепады давления на исследуемой конструкции отсека.

### Выводы и перспективы

В результате проведенных исследований впервые получены следующие выводы:

1. Установлены основные положения определения воздуха в кабине при разгерметизации отсека ЛА.

2. Определены интегральные и локальные значения параметров газа в отсеке и разработан алгоритм определения локальных значений параметров газа в отсеке.

3. На основании разработанного метода отсеков по сравнению с методом Эйлера определяются параметры газа в отсеке при подводе, отводе газа (энергии) и не содержит допущений параметров газа и отсека.

Учитывая полученные результаты, необходимо продолжить исследования по определению параметров газа в отсеке ЛА с учетом вязкости.

### Список литературы

1. Сергель О.С. Прикладная гидрогазодинамика / О.С. Сергель. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с.

2. Бендерский Б.Я. Аэрогазодинамика / Б.Я. Бендерский. – М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2007. – 496 с.

3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

4. Голубкин В.Н. Принцип максимума функции Бернулли / В.Н. Голубкин, Сизых Г.Б. // Ученые записки ЦАГИ. – 2015. – Т. 46, № 5. – С. 53 - 56.

5. Вычисление параметров флаттера профиля на базе метода Эйлера с приближенными граничными условиями // Экспресс-информация. Авиационное. – 2006. – № 4. – С. 3-13.

6. Кириллов О.Е. Одно решение уравнений Навье-Стокса: точечный сферически симметричный

источник в сжимаемом совершенном газе / О.Е. Кириллов // Ученые записки ЦАГИ. – 2015. – Т. 46, № 7. – С. 30 - 41.

7. Башкин В.А. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики / В.А. Башкин, И.В. Егоров. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 332 с.

8. Доник В.Д. Разработка математической модели газодинамических процессов в отсеке летательного аппарата с учетом априорной информации / В.Д. Доник // East European Scientific Journal. – Warsaw. – 2016. – № 1(5). – Volume 3. – P. 26 - 35.

9. Доник В.Д. Моделирование газодинамических и аэроакустических процессов при внезапной разгерметизации отсеков летательного аппарата / В.Д. Доник, А.З. Двейрин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2014. – Вып. 63. – С. 134 - 151.

10. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. – М.: ЛИИ им. М.М.Громова, 1994. – 322 с.

11. Wheel and Tire Failure Model. JAA Temporary Guidance Material TGM/25/08 (issue 2) 07.02.01.

12. Доник В.Д. Исследование газодинамических процессов при внезапной разгерметизации отсека / В.Д. Доник, А.З. Двейрин // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение: сб. науч. тр. – К.: НТУУ «КПИ», 2005. – Вып. 46. – С.133-137.

13. Мартюшев Л.М. Развитие экосистем и современная термодинамика / Л.М. Мартюшев, Е.М. Сальникова. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 80 с.

14. Мхитарян А.М. Динамика полета / А.М. Мхитарян, П.С. Лазнюк, В.С. Максимов и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 414 с.

15. Доник В.Д. Алгоритм сглаживания экспериментальных данных с минимизацией остатков / В.Д. Доник. – К., 1987. – Деп. ВИНТИ 1.04.88. N2534-B88. – 8 с.

16. Доник В.Д. Установление закономерностей изменения параметров воздуха в соответствии с моделью внезапной разгерметизации / В.Д. Доник // East European Scientific Journal. – Warsaw. – 2016. – № 3(7). – V. 2. – P. 14-20.

17. Ивлентьев В.С. Разгерметизация кабин летательных аппаратов: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.07.02. – М.: МАИ, 1983. – 32 с.

### References

1. Sergel O.S. Prikladnaya gidrogazodinamika / O.S. Sergel. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 374 s.

2. Benderskiy B.YA. Aerogidrogazodinamika / B.YA. Benderskiy. – M.: Institut kompyuternyih issledovaniy; Ijevsk: NITS “Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika”, 2007. – 496 s.

3. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam / I.E. Idelchik; pod red. M.O. SHteynberga – M.: Mashinostroenie, 1992. – 672 s.

4. Golubkin V.N. Printsip maksimuma funktsii Bernulli / V.N. Golubkin, Sizyih G.B. // Uchenyie zapiski TSAGI. – 2015. – T. 46, № 5. – S. 53 - 56.

5. Vyichislenie parametrov flattera profilya na baze metoda Eylera s priblijennyimi granichnyimi usloviyami // *Ekspress-informatsiya. Aviaostroenie.* – 2006. – № 4. – S. 3-13.
6. Kirillov O.E. Odno reshenie uravneniy Nave-Stoksa: tochechnyy sfericheski simmetrichnyy istochnik v sjimaemom sovershennom gaze / O.E. Kirillov // *Uchenyie zapiski TSAGI.* – 2015. – T. 46, № 7. – S. 30 - 41.
7. Bashkin V.A. CHislennoe issledovanie zadach vneshney i vnutrenney aerodinamiki / V.A. Bashkin, I.V. Egorov. – M.: FIZMATLIT, 2013. – 332 s.
8. Donik V.D. Razrabotka matematicheskoy modeli gazodinamicheskikh protsessov v otseke letatel'nogo apparata s uchetom apriornoy informatsii / V.D. Donik // *East European Scientific Journal.* – Warsaw. – 2016. – № 1(5). – Volume 3. – P. 26 - 35.
9. Donik V.D. Modelirovanie gazodinamicheskikh i aeroakusticheskikh protsessov pri vnezapnoy razgermetizatsii otsekov letatel'nogo apparata / V.D. Donik, A.Z. Dveyrin // *Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii.* – Harkov: NAKU «HAI». – 2014. – Vyip. 63. – S. 134 - 151.
10. Aviatsonnyie pravila. CHast 25. Normy letnoy godnosti samoletov transportnoy kategorii. – M.: LII im. M.M.Gromova, 1994. – 322 s.
11. Wheel and Tire Failure Model. JAA Temporary Guidance Material TGM/25/08 (issue 2) 07.02.01.
12. Donik V.D. Issledovanie gazodinamicheskikh protsessov pri vnezapnoy razgermetizatsii otseka / V.D. Donik, A.Z. Dveyrin // *Vestnik Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta Ukrainyi «KPI».* Mashinostroenie: sb. nauch. tr. – K.: NTUU «KPI», 2005. – Vyip. 46. – S.133-137.
13. Martyshev L.M. Razvitie ekosistem i sovremennaya termodinamika / L.M. Martyshev, E.M. Salnikova. – Moskva-Ijevsk: Institut kompyuternykh issledovaniy, 2004. – 80 s.
14. Mhitaryan A.M. Dinamika poleta / A.M. Mhitaryan, P.S. Laznyuk, V.S. Maksimov i dr. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 414 s.
15. Donik V.D. Algoritm sglajvaniya eksperimentalnykh daniy s minimizatsiyey ostatkov / V.D. Donik. – K., 1987. – Dep. VINITI 1.04.88. N2534-V88. – 8 s.
16. Donik V.D. Ustanovlenie zakonornostey izmeneniya parametrov vozduha v sootvetstvii s modelyu vnezapnoy razgermetizatsii / V.D. Donik // *East European Scientific Journal.* – Warsaw. – 2016. – № 3(7). – V. 2. – P. 14-20.
17. Ivlenyev V.S. Razgermetizatsiya kabin letatelnykh apparatov: avtoref. dis. d-ra tehn. nauk: 05.07.02. – M.: MAI, 1983. – 32 s.

*Rovin S.L.,  
Ph.D.,*

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus  
Kalinichenko A.S.,  
D.Sc.,*

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

## **A NEW METHOD OF RECYCLING OF PARTICULATE IRON-CONTAINING WASTES - THE WAY TO CREATION OF NON-WASTE PROCESSING AND UTILIZATION OF METALS IN INDUSTRY.**

**Summary:** The article presents an alternative method for recycling ferrous-containing waste. Method based on a continuous solid-liquid phase reduction of iron oxides in rotary tilting furnaces (RTF). The new method allows the processing of waste from virtually any composition and state from metal to oxide and multicomponent (shavings, scales, sludges, etc.) contaminated with moisture, oils, organic impurities without their preliminary preparation (purification, homogenization, pelletization, etc.). The final product of method is a cast iron or steel ingot or specified casting alloys.

*Key words:* recycling, reduction, disperse iron-containing wastes, rotary tilting furnaces

### **Introduction**

Efficient use of resources including wastes utilization and recycling is a matter of universal significance. In response to the growth of deficit of qualitative charge materials and their prices the recycling of disperse iron-containing wastes, such as chips, scale, aspiration and abrasive dust, sludge etc., and which accumulation in dumps today comparable with ore mining is a matter of great significance.

At present in metallurgy methods of direct ore oxides reduction are rapidly on the rise along with a traditional blast-furnace practice of iron production. It seems that these methods may be also used for processing of industrial metal wastes. But at the formal resemblance of the processes it is practically impossible

to use the engineering solutions existing in metallurgy for recycling dispersed iron-containing wastes.

The main problem is that all the methods of iron direct reduction, as well as blast-furnace practice, maintain the differential process characteristic – charge must be in the form of lumps (pellets, agglomerates, briquettes). Lower size limit is 10 - 15 mm, while the upper one doesn't have practically any restrictions. The lower limit is conditioned by a layer mode of furnaces working technology and their sizes. Herewith not only size limitations but also strict requirements to the charge density and strength are attributed to operational and technological characteristics [1].

It is known that the rate of heat exchange and all heterogeneous processes at the gas–solid interface, including solid-phase reduction, depends on the reagents

specific surface area. As well the rate of reduction (oxidation) is a direct function of material dispersion and porosity, first of all, open porosity [1, 2].

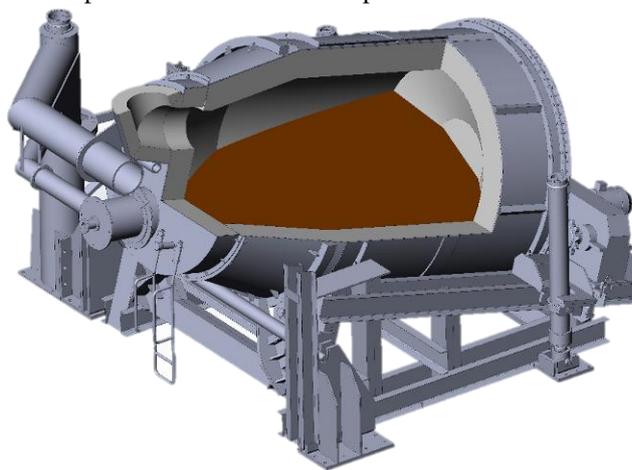
Such technological conflict in metallurgy is solved by increasing the furnace size both in two-stage and one-stage methods of iron production. Profitability of metallurgical units may be reached only by production of about a million tons per year or even to higher values. Herewith, requirements for stability and uniformity of the charge stock, its composition, size, mechanical properties etc., become prevalent ones.

However, dispersion and porosity of the original charge substance are considered to be negative characteristics. The above characteristics are aimed to be lowered by various approaches – the stock is pelletized, that results in the increase of the expenditures and the cost of the final product.

Centralized collection and processing metal wastes lead to uncontrolled mixing of dissimilar materials resulting in worsening their quality as metallurgical iron source. Moreover, it requires well developed material handling and logistic systems, sophisticated equipment for cleaning and preparation, melting, control and realization of the product. It makes the above product uncompetitive in comparison with traditional charge materials. So, the recycling of the industrial metal wastes must be organized on a different basis.

It is necessary to provide maximum intensity and the flexibility in creating recycling technology that must be oriented on processing of disperse technogenic metal wastes obtained from relatively small amounts on hundreds of sources (machine-building, metal-working and metallurgical enterprises).

This technology should allow the use of different raw materials without preliminary preparation and organization of profitable production with the application of small power units at minimal capital cost.



Small-tonnage recycling on a national scale does not mean a low-powered production but this means decentralized flexible production, organized directly at the enterprises-sources of waste generation.

### Results and discussions

Developed small-tonnage recycling is based on closed ecological system of metal recovery. Herewith, the material porosity and dispersion are positive characteristics since processing is carried out in principally new facilities – rotary tilting furnaces (RTF).

Alternatively to traditional installations working with fixed bed of lump materials dispersed materials in RTF are within a dynamic continually stirred layer being influenced by high-speed high-temperature loop-like gas flow with 25-35 m/s circulation speed. Forward speed in the axial direction does not exceed 1-3 m/s. Constant renewal (mixing) of the layer and its intensive blow increase manifold the processes of mass and heat transfer: in RTF volumetric heat transfer coefficient ( $\alpha_v$ ) reaches 2000-3000 W/m<sup>3</sup>, while in a fixed bed of the material it is at the level of (3-4) W/m<sup>3</sup> [2].

In order to implement high-temperature and high-speed processes of heating, reduction and melting of dispersed materials it was necessary to study character of gas flow and movement of dispersed materials in RTF and to develop methods to control these processes.

For the research, a specially developed technique for simulation modeling and computer modeling using high-level programs were used.

Facilities modeling was carried out for furnaces of different types: for traditional short drum-type furnaces with rectilinear translation of the gas flow and for rotational tilting furnaces with loop rotational motion of gas (Fig. 1.).



Fig. 1. – RTF General Drawing

The results of numerical simulation are the fields of temperatures, velocities and trajectory of the gas flow, an example of the solution is shown in Fig. 2.

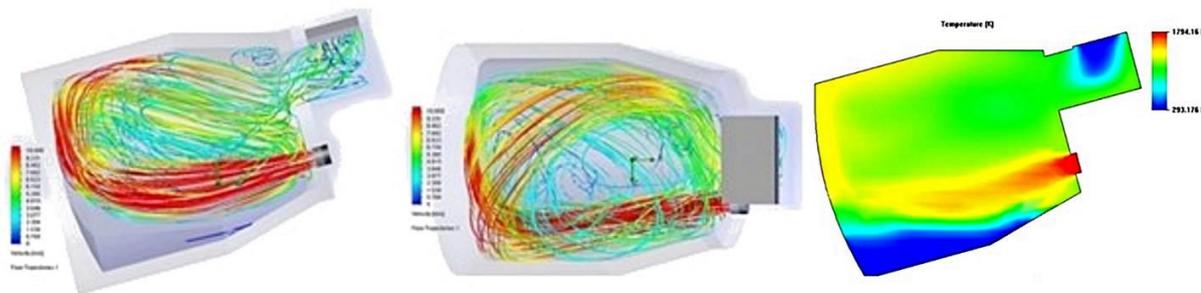


Fig. 2. – Trajectories and velocities of gas motion and temperatures in RTF.

Aerodynamics of the flow and its interaction with material depend on the burners disposition, their number and incidence angle, layer configuration, spinning speed, spinning axis tilting angle, etc., which makes such furnace the facility with controlled vector of heat carrier flow.

High velocities gradient in the layer section and the pulse nature of the material motion in RTF provide high intensity of mixing and, as a consequence, that of heat exchange in the layer. According to the results of simulation and computerized modeling, equalizing of the composition and thus the temperature in the material layer in RTF takes 5-10 turnovers of the furnace body.

The results of simulation and computerized modeling made the basis for development of engineering solutions which have been successfully realized in practice.

Time of dense agglomerates reduction process, including pellets and agglomerates, amounting to 20 hours and more in the processes of direct nonblast-furnace iron-making is conditioned, first of all, by inside diffusion, and is proportional to the size of the reduced material.

As a basic model, accepted in iron and steel industry, describing the mechanism of agglomerates reduction process, the model with “unreacted core” is used [3, 5]. In compliance to the above model reactions of the reduction from highest oxide to metal ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{FeO}$ - $\text{Fe}$ ) go at the reaction zone surface; reduced lower oxides (or metal) develop a particular barrier round the unconverted core - shell.

As the reaction zone moves deep into agglomerate the reduction speed decreases rapidly due to, first of all, the growth of route of the reducing gas molecules, diffusing through the layer (shell) of the reduced material and that of the re-diffusion of reaction products, and secondly, reaction surface area decreases proportionally to a squared radius of the unconverted core.

When describing the reduction processes of porous disperse materials, such as scale, aspiration dust and metallurgical sludge, etc., the use of the model with “unconverted core” does not reflect the actual conditions and is unacceptable.

Oxide particles have the sizes tens and hundreds times smaller than pellets, much less briquettes. Porosity of scale, aspiration dust and sludge, as a rule, is apparent, and is by two or three orders of magnitude greater than the agglomerate porosity, which during the process of reduction provides similar conditions of the

exchange process practically throughout the whole depth of the reduced particle. Studies have found that during the process of scale reduction in a dynamic layer at the temperature of 1100-1200°C the degree of metallization reaches 75-80 % yet in 30 minutes.

In such conditions the “quasi-homogeneous” model of the reduction process, based on the fact that reducing agent gets inside and simultaneously interacts with oxides throughout the whole mass, operating speed is equal and metallization goes on throughout the whole volume of the particle (layer element) simultaneously [2].

Adequacy of the “quasi-homogeneous” model use for description of the processes of solid-phase reduction (SPhR) of disperse materials in a dynamic blown through layer as well as high operational rates have been supported also during reduction smelting of scale in RTF pilot furnace at Belarusian Steel Works, where SPhR-process did not exceed 2.0 – 2.5 hours [2].

Interaction nature of iron oxides with gas reducing agents and carbon is adsorptive-catalytic, which is promoted by fast-renewing surface: in RTF the material is in continuous spiral reciprocating motion actively being mixed, both in the section perpendicular to the rotation axis and longitudinally. Fixed contact of dynamic layer with high-speed turbulent gas flow with  $\text{CO}/\text{CO}_2$  ratio is not less than 2/1, being in looping motion in furnace operating space also facilitates mass-exchanging processes.

There has been growing the role of direct reduction at the expense of solid Carbon (C), that is present within the material layer both in the form of carbon soot and disperse and ultra-disperse particles: specific developed surface of reagents up to 1,5-2,5  $\text{m}^2/\text{g}$  contributes to the direct carbon interaction with iron oxides. Appearance of the excess CO amount over the material layer and also heavy frothing of slugs at the transition into the stage of liquid-phase reduction that finalizes the process of oxides recycling in RTF is the evidence of process described.

Hydrogen also plays an active role in reduction of porous (microporous) material. Hydrogen originating due to  $\text{H}_2\text{O}$  conversion from the products of natural gas combustion easily penetrates into micropores, which size are commensurate with molecule free path of  $\sim 0.5$ - $0.7\mu$ . Pores with size  $< 1\mu\text{m}$  make up 30-50% of the total surface of slag plates and sponge iron obtained. The presence of hydrogen accelerates the recovery process by 10-20%.

All the known methods of nonblast-furnace iron-making from ore and industrial iron-containing wastes may be divided into two groups, differing from each other by the method of oxides reduction and final product: methods of solid-phase reduction (SPhR), which final product is sponge iron, and liquid-phase reduction (LPhR), the final product of which is liquid iron [3,4].

Solid-phase oxides reduction and sponge iron production is the most developed and efficient processes, though rather time-consuming and do not solve the problem of complete replacement of the primary charge materials. Producing of high-quality dense materials, pig and casting alloys, is possible only by the method of their further re-melting in furnaces of different type, mainly in electric arc or induction ones, or in cupola installations.

High-rate LPhR-processes are rather energy-intensive, thus using such methods for reduction, starting from original composition, without first solid-phase reduction of oxides results in cost increase of the final product – cast iron and steel [4].

It seems that the most rational is the process of continuous two-stage reduction in one installation without overloading and transient heat loss.

Herewith, heating, drying, oil burning-out and first materials reduction are carried out in solid state,

and then after the optimal metallization level (70-80 %) has been reached and solid-phase reduction has been slowed down, the above process transits into high-temperature mode of liquid-phase reduction to produce liquid iron or steel. Exactly such two-stage process was realized on the basis of the designed technology with use of RTF.

One of the main factors, hindering continuous two-stage process with transition from SPhR to LPhR, is bloom processing (agglomeration of reduced iron with slag and under-reduced material). Lumps (blooms) formation terminates the reduction process, hinders material smelting and liquid-phase reduction.

Due to high technological mobility RTF makes it possible to overcome the above difficulty. The main part herewith is the rate of material heating during the transition period from 1100-1200°C (temperature of SPhR conduct up) to 1700-1800 °C, which is temperature of LPhR realization. During experimental melting 5-6 minutes transition time was reached while the heating rate was 2-3 K/sec.

Characteristics of the developed method of recycling in RTF, based on continuous solid-liquid-phase reduction process that differ from the known technologies of direct iron production may be presented using Fe-C diagram (Fig. 3).

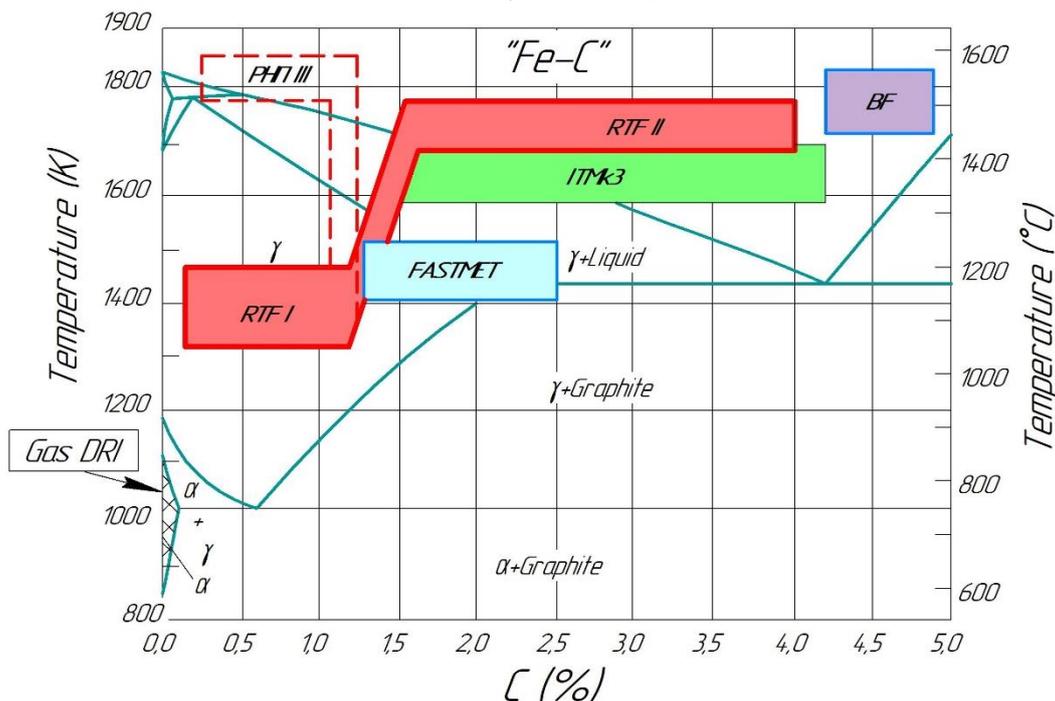


Fig. 3. – Technological interval of producing iron carbon alloys in RTF.

Technology of processing oxide iron-containing wastes in RTF may be divided conditionally into two main stages, realized successively and continuously in one facility:

I – loading and heating of initial materials, solid-phase reduction of iron oxides in recovering atmosphere (may be reached by gas burning with oxygen deficiency  $\alpha = 0.6 - 0.7$ ) with reducing agent (undersized coke, lignin, crushed electrodes, etc.) at 1000-1200 °C. Such long process taking about 2.5-3.0 hours depending on oxidation level of the original material.

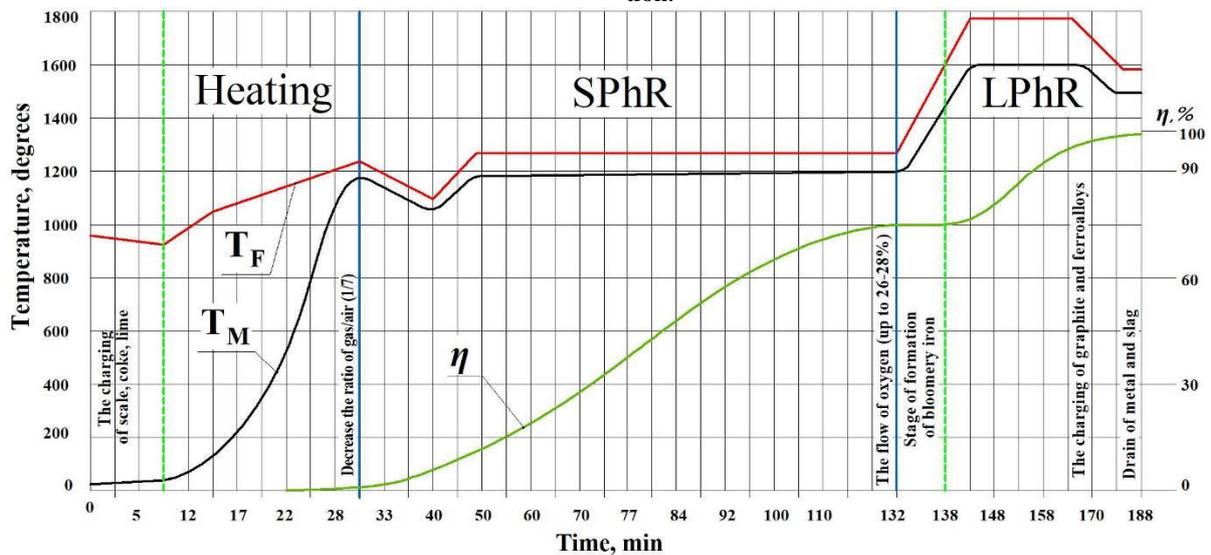
Metallization degree at the end of solid-phase reduction is 70-80 %.

II – smelting, final liquid-phase reduction, melt carbonization, if necessary; equalizing till boiling stops and mold casting; or melt ladle pouring and transfer for chemical composition adjustment into electric furnace (duplex-process). Furnace temperature at melting rises up to 1700-1800°C, which is achieved by oxygen enrichment up to the general content of (27-29 %). The duration of the above stage is 30-50 minutes.

Specific temperature – time recycling mode of scale is presented in Fig.4.

The process of recycling of unoxidized metal wastes (chips, metal dust, fine scrap) in RTF is limited to remelting. Metal oxidation during heating is pre-

vented due to high heating rate (60-80 K/min) and furnace reducing atmosphere. At melting 5-7 % contaminated iron chips (moisture, oils, non-organic compounds) metal yield made up 95-93 %. The presence of oil in chips reduces specific fuel (natural gas) consumption.



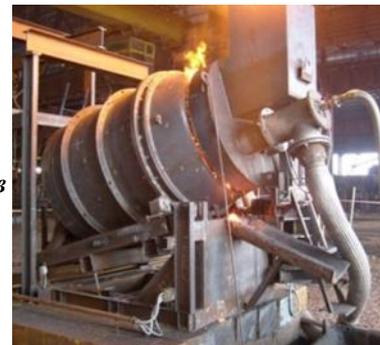
$T_F$  – furnace temperature;  $T_M$  – materials temperature;  $\eta$  – metallization rate  
Fig. 4. – Mode of scale reduction melting in RTF.

Metal, produced in RTF, depending on the original task, may be casted into ingots (pigs) with further use as charge stock in traditional melting facilities, or transmitted to electric furnaces for adjusting chemical composition in accordance with branded alloys or for its bringing up to the set composition directly in RTF.

Besides recycling of iron-containing wastes, technological processes and rotary furnaces for processing

disperse aluminum, copper and lead-bearing wastes have been developed and introduced into production.

In total 8 technological recycling processes and 15 rotary facilities have been developed and introduced into production at 12 Works in the Republic of Belarus and in Russia (some of the installations are presented in Fig.5).



a – processing of iron turnings ("Centrolit", City of Gomel, Belarus); b – lead recycling ("KPVR SPLAV", City of Riazan, Russia); c – recycling of iron scale and sludge ("BMZ", City of Zhlobin, Belarus)

Fig. 5. – Rotary furnaces for the recycling of dispersed metal waste.

### Conclusion

For the first time in the world, the process of obtaining iron from oxides (oxide and multicomponent iron-containing wastes) with the metal yield (cast iron or steel) to 90% of the theoretically possible by continuous solid-liquid phase reduction in one unit (RTF) without overloads and stops at intensive mode with rates exceeding the recovery rates in known SPhR-processes, and with lower specific energy costs than in the LPhR-processes has been realized. The new process allows for batch processing of materials, which makes it

possible to carry out decentralized low-tonnage recycling of disperse metal waste without their preliminary preparation and directly at machine-building, metallurgical and metalworking enterprises - sources of this waste.

The introduction of the developed technology and equipment allows creating a new raw material base for foundry production, reducing dependence on primary charge materials, organizing the non-waste turnover of metals in industry, eliminating accumulated metal waste, using waste of solid carbonaceous materials,

thus obtaining significant economic and environmental benefits.

#### References

1. Yusfin Yu.S., Himmelfarb A.A., Pashkov N.F. New processes of metal production (iron metallurgy). (Novye protsessy polucheniya metalla (metallurgiya zheleza)). M.: Metallurgy, 1994. 320 p. (in Russian)
2. Rovin S.L. Recycling metal wastes in rotary furnaces. (Retsikling metallootkhodov v rotatsionnykh pechakh) Minsk: BNTU, 2015. 382 p. (in Russian)

3. Tulin N.A., Kudryavtsev V.S. and others. Development of non-coke metallurgy (Razvitiye beskoksovoy metallurgii) / Ed. N.A.Tulina, K.M. Mayer. M.: Metallurgy, 1987. 328 p. (in Russian)
4. Bondarenko B.I., Shapovalov V.A., Garmash N.I. Theory and technology of non-coke metallurgy (Teoriya i tekhnologiya beskoksovoy metallurgii) / Pod.red. B.I.Bondarenko. K.: Naukova Dumka, 2003. 506 p. (in Russian)
5. Die Reduktion der Eisenerse. L. von Bogdandy, H-J. Engel / - Verlag Stahleisen mbH, Dusseldorf, 1967. 520 p.

**Brazhenko V.N.**

*assistant of the department of gidrogas system,  
National Aviation University*

**Браженко Владимир Николаевич**

*асистент кафедры гидрогазовых систем,  
Национальный авиационный университет*

### THEORETICAL RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF A FLUID MECHANICAL CLEANING BY A ROTARY FILTER ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧИСТКИ ЖИДКОСТИ РОТАЦИОННЫМ ФИЛЬТРОМ

**Summary:** The main task of this work is to research the efficiency of the hydraulic fluid cleaning by the rotary filter with a discrete perforated filter element and a storage bin for sediment at various modes of a fluid flow. According to the results of the numerical simulation a analysis of liquid's motion has been performed. The unequal motion of particles at the surface and through holes of a filter element has been noted. The influence of the tangential and radial components of the particle velocity on the filtration efficiency of the rotational filter is has shown. The results of separation efficiency of mechanical particles by discrete perforated filtering baffle on the basis of numerical simulation is has presented.

**Key words:** rotary filter, mechanical impurities, numerical simulation, discrete perforated filtering baffle, storage bin.

**Аннотация:** Основная задача данной работы – исследование эффективности очистки гидравлической жидкости с помощью ротационного фильтра с дискретно перфорированным фильтрующим элементом и бункером для осадка при её различных режимах течения. По результатам численного моделирования проведен анализ движения жидкости. Отмечено неравномерное движение механических частиц на поверхности и через отверстия фильтрующего элемента. Показано влияние тангенциальной и радиальной составляющих скорости частицы на эффективность фильтрации ротационного фильтра. Представлены результаты эффективности сепарации механических частиц дискретной перфорированной фильтрующей перегородкой на основе численного моделирования.

**Ключевые слова:** ротационный фильтр, механические примеси, численное моделирование, дискретная перфорированная фильтрующая перегородка, бункер.

#### Постановка проблемы.

Перспективным направлением для большинства современных отраслей промышленности является применение фильтров, конструкция которых позволяет выполнять длительное непрерывное восстановление фильтроэлемента без прекращения рабочего процесса в гидросистеме и непосредственно фильтрации. Реализация самовосстановления или самоочистки поверхности фильтроэлемента потенциально реализована в относительно не дорогих гидродинамических полнопоточных фильтрах, а именно ротационных фильтрах. При их эксплуатации осуществляется вращательное движение перфорированного фильтроэлемента относительно жидкости. Таким образом, реализуется её очистка с помощью проницаемой перегородки и наблюдается явление гидродинамической действия инерционных сил потока жидкости на загрязнения, которые непрерывно удаляются с поверхности

этого фильтроэлемента (использование принципа гидродинамической очистки).

Однако, на сегодняшний день применение полнопоточных гидродинамических фильтров, а именно ротационных фильтров, с вращающимся фильтроэлементом ограничено из-за реализации эффекта гидродинамической очистки в неполной мере.

Таким образом, актуальной задачей при совершенствовании гидродинамических устройств фильтрации является исследование потока несущей жидкости между корпусом и вращающимся фильтроэлементом и движения в рабочей жидкости механических частиц загрязнений, особенно у вращающейся поверхности и в её отверстиях.

#### Анализ последних исследований и публикаций.

Обзор теоретических и экспериментальных работ в области исследования ротационных фильтров

дает широкий спектр представлений о процессах и явлениях, происходящих непосредственно в этих устройствах. Анализируя современные работы можно отметить весомый вклад в исследование устойчивости течения жидкости между неподвижным внешним и вращающимся проницаемым внутренним цилиндрами [1], а также влияние конструкции бункера ротационного фильтра на процесс очистки [2,3,4,5]. Стоит упомянуть работу о проведении экспериментов связанных с исследованием эффективности очистки рабочих жидкостей ротационным фильтром с вращающимся дискретно перфорированным фильтроэлементом [6].

#### Выделение нерешенных ранее частей обшей проблемы.

Подытоживая обзор нужно подчеркнуть не указанную в одном источнике проблему движения частиц примеси у поверхности дискретно перфори-

рованного фильтроэлемента с учетом размеров частиц и отверстий в нем. Без исследования этого вопроса нельзя обеспечить эффективную работу фильтра в полнопоточном режиме. В такой постановке важно рассмотреть поведение частиц примеси возле отверстий фильтрующей перегородки в зависимости от режима течения жидкости.

#### Цель статьи.

Цель данной работы провести численное моделирование движения жидкости и механических частиц примеси в рабочей области ротационного фильтра, а именно у поверхности фильтроэлемента, конструкция которого содержит цилиндрические отверстия. В центре внимания находится вопрос возможности осуществления эффекта гидродинамической очистки [7] для данной конструкции фильтроэлемента и определения режимов течения при которых этот эффект возможен.

#### Изложение основного материала.

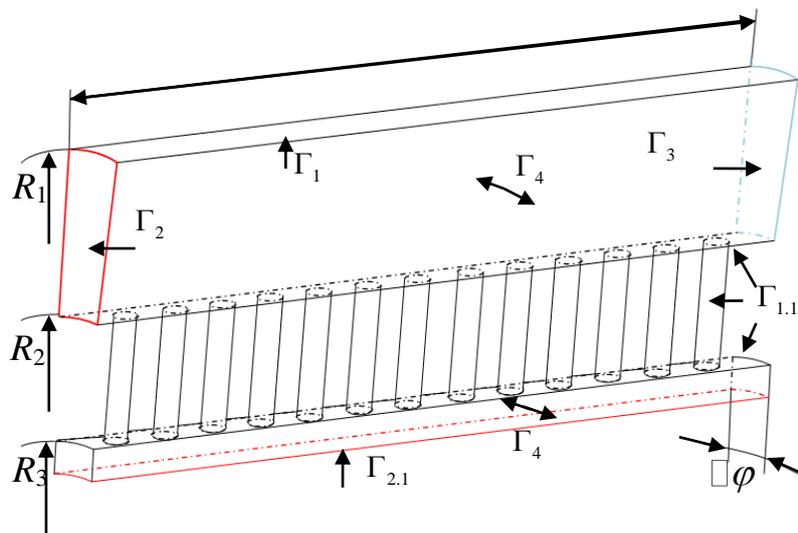


Рисунок 1 – Расчетная схема:

$\Gamma_1$  – неподвижная стенка,  $\Gamma_{1.1}$  – вращающийся фильтроэлемент,  
 $\Gamma_2$  – выход в бункер,  $\Gamma_{2.1}$  – выход фильтрата,  $\Gamma_3$  – вход,  $\Gamma_4$  – периодическая граница

Для проведения численного моделирования разработана расчетная схема полнопоточного гидродинамического фильтра (рис.1) в трехмерной постановке. На ней изображен сегмент внутреннего вращающегося цилиндра радиусом  $R_2$  с перфори-

ванной поверхностью, внешний неподвижной корпус с радиусом  $R_1$ , обозначен также бункер для сбора осадка с простой геометрической формой (цилиндрической). Определены граничные условия:

$$\Gamma_1 : V_r = V_\varphi = V_z = 0; \Gamma_{1.1} : V_r = V_z = 0, \quad V_\varphi = \Omega \cdot r$$

$$\Gamma_2 : V_r = V_\varphi = V_z = 0;$$

$$\Gamma_{2.1} : V_r = -v_o \cdot \Omega R_1 \frac{R_1}{R_3}, \quad V_\varphi = 0;$$

$$\Gamma_3 : V_r = V_\varphi = 0, \quad V_z = \frac{Q}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (1)$$

$$Tu = 5\%, \quad ; \mu_t / \mu = 10$$

$$\begin{aligned} \Gamma_4 : V_r(r, \varphi_0) &= V_r(r, \varphi_0 + \Delta\varphi), \\ V_\varphi(r, \varphi_0) &= V_\varphi(r, \varphi_0 + \Delta\varphi), \\ \Gamma / (\Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4) : V_r &= 0, \quad V_\varphi = 0 \\ k(r, \varphi_0) &= k(r, \varphi_0 + \Delta\varphi), \\ \omega(r, \varphi_0) &= \omega(r, \varphi_0 + \Delta\varphi), \end{aligned}$$

где  $V_r, V_z, V_\varphi$  – радиальная, осевая та окружная швидкість рідини,  $Tu$  – интенсивность турбулентности,  $\mu/\mu_0$  – относительная динамическая вязкость,  $Q$  – объемный расход жидкости,  $\Omega$  – угловая скорость вращения фильтроэлемента ротационного фильтра.

Численное моделирование движения несущей жидкости базируется на полных уравнениях Рейно-

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{V}) = -\nabla p + \nabla T_e - \rho(\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V}), \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0. \quad (3)$$

При этом обоснованы все основные схемные подходы и способы аппроксимации всех членов в решаемых уравнениях. Подробнее о постановке задачи можно узнать из источника [7].

Моделирование проводилось в диапазоне чисел Рейнольдса  $100 \leq Re_r \leq 220$ ,  $5600 \leq Re_r \leq 15500$ , где критерии физического подобия  $Re_\varphi$  и  $Re_r$  определяются как:

$$Re_r = \frac{Q}{2\pi R_1 l_0 \nu}, \quad Re_\varphi = \frac{\Omega \cdot R_1^2}{\nu}, \quad (4)$$

где  $l_0$  – длина фильтроэлемента,  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости.

Один из самых результативных путей, который позволяет выполнить дискретизацию начальных уравнений в задачах о движении жидкой фазы с помощью интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных, является метод конечных объемов. На основе метода конечных объемов применяются аппроксимационные схемы высокого порядка точности с контролем монотонности для предотвращения нефизических осцилляций. В частности, конвективные слагаемые в уравнениях переноса представлены с помощью модифицированной противопоточной схемы QUICK (Леонарда). Аппроксимацию диффузных слагаемых осуществлено на основе центрально-разностной схемы 2-го порядка. Дискретизацию по времени выполнено с применением неявной схемы 2-го порядка с явным трактовкой исходных членов. Для согласованной коррекции

льдса осредненного турбулентного течения несжимаемой жидкости (2) во вращающейся цилиндрической системе координат  $(r, \varphi, z)$  с добавлением усредненного уравнения неразрывности (3) и применением модели турбулентности SST  $k-\omega$ :

полей скорости и давления применена усовершенствованная процедура SIMPLEC. Решение систем линейных уравнений выполнялось итерационным методом Гаусса-Зейделя. Для контроля сходимости применено технику нижней релаксации.

На основе полей давления и скорости жидкости моделировалось движение частиц примеси. Для этого применена модель «пассивной примеси» [7], в которой перемещение частицы в Лагранжевой постановке определяется дифференциальным уравнением

$$\frac{d\mathbf{u}_p}{dt} = \frac{(\rho_p - \rho)}{\rho_p} \mathbf{g} + \mathbf{F}_\Sigma, \quad (5)$$

где  $\mathbf{u}_p$  – скорость движения частицы в проекциях  $u_{pz}, u_{pr}, u_{p\varphi}$ ;  $\rho_p, \rho$  – плотность частицы и жидкости;  $\mathbf{g}$  – ускорение силы тяжести;  $\mathbf{F}_\Sigma$  – суммарные силы межфазного взаимодействия, куда входят силы обусловленные градиентом давления, нестационарным обтеканием частицы и лобовым сопротивлением.

Рассматривая эволюцию течения жидкости в зависимости от изменения параметров  $Re_\varphi$  и  $Re_r$  (рис. 2) следует отметить уменьшение просвета, через который могла бы пройти частица примеси в фильтрат. Это происходит за счет увеличения угловой скорости, которая вызывает перекрытие отверстия набегающим течением.

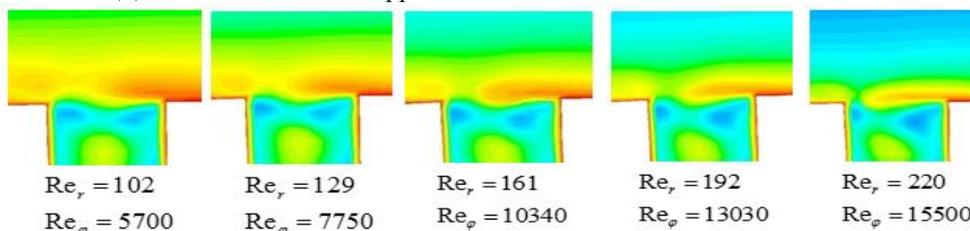


Рисунок 2 – Распределение скоростей жидкости у отверстия вращающегося дискретно перфорированного цилиндра при различных режимах течения

Рассматривая рис. 3 особенно интересуют причины прохождения частиц в первые отверстия от входного сечения. Анализируя величину радиальной и тангенциальной скорости вдоль отверстий

дискретно перфорированного фильтроэлемента (рис. 4) следует отметить, что наибольшие значения радиальной скорости, и наименьшие значения тангенциальной скорости

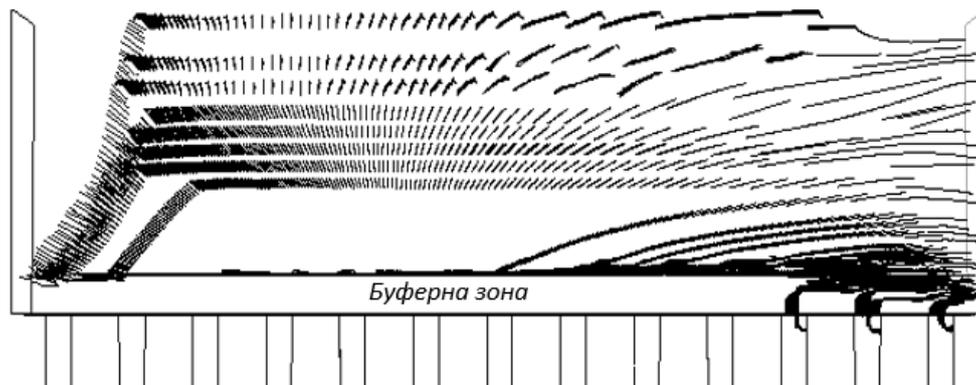


Рис. 3 – Траектории движения частиц примеси антрацита размером 100 мкм у поверхности вращающегося проницаемого цилиндра в трехмерной постановке для режима течения  $Re_r = 102$ ,  $Re_\phi = 5700$

наблюдаются в отверстиях близлежащих ко входному сечению по сравнению с отверстиями в центре и в конце проницаемой перегородки относительно входа. Также на рисунке 3 можно увидеть наличие буферной зоны у дискретно перфориро-

ванной поверхности. Ниже этой зоны частицы примеси не опускаются. Присутствие такого эффекта связана с уравниваемостью сил действующих на частицы примеси.

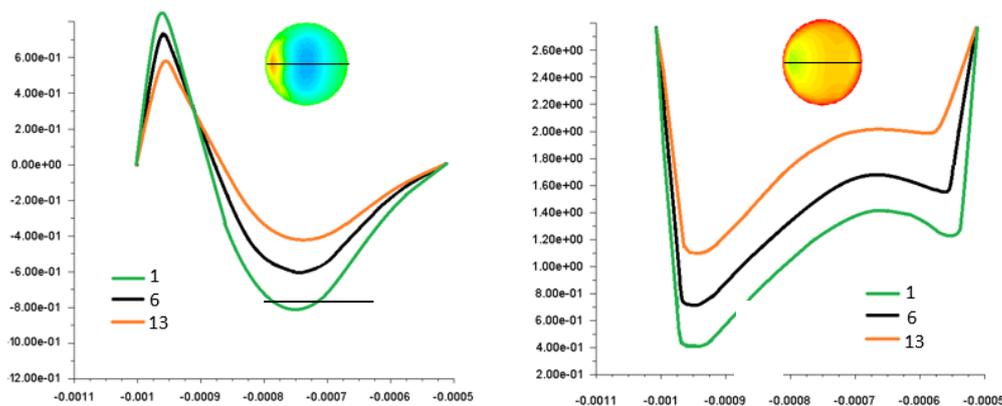


Рисунок 4 – Распределение радиальной и тангенциальной скорости вдоль отверстий расположенных относительно входного сечения (1-й, 6-й, 13-й отверстие) в дискретно перфорированной фильтроэлемента для режима течения  $Re_r = 102$ ,  $Re_\phi = 5700$

Исследуемые точки охватывали только зону устойчивости и не задевали зону неустойчивости, где возможно образованием вторичных вихревых включений.

На основе представленных данных полей скоростей у отверстия и в нем можно получить более определенную оценку эффективности гидродинамической очистки жидкости, исследуя траектории

движения частиц вблизи поверхности фильтроэлемента. При этом в первом приближении можно пренебречь скольжением фаз, считая, что частицы движутся вдоль линий тока несущей жидкости. Из анализа движения примесей диаметром 100 мкм, в 5 раз меньше диаметра отверстий в фильтроэлемента (Рис. 5), рассматриваются именно те частицы, которые оказались у поверхности фильтроэлемента и проходят над отверстиями вдоль их диаметра.

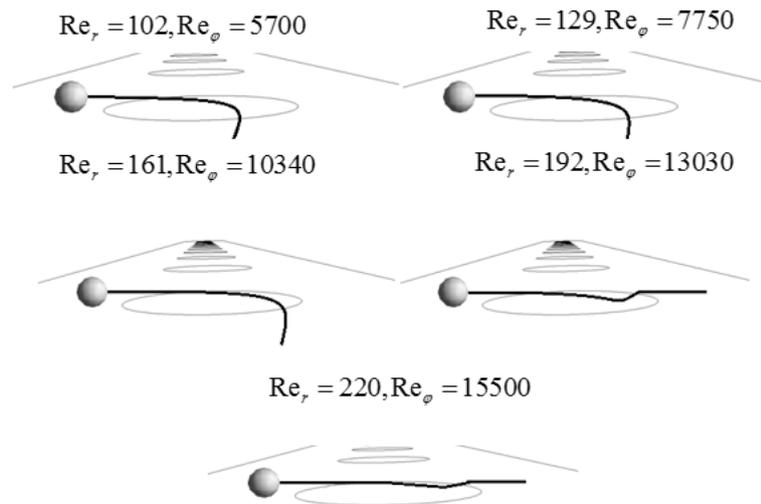


Рисунок 5 - Траектории движения частиц диаметром 100 мкм над отверстиями дискретно перфорированной перегородки

На рисунке 5 изображены линии тока, проходящих через центры частиц, которые касаются поверхности дискретно перфорированного цилиндра в одной из возможных точек и могут быть захвачены потоком в отверстие перегородки.

Анализ представленных данных показывает, что для дискретно перфорированного цилиндра уже при относительно невысоких угловых скоростях исключается попадание в проходные отверстия частиц, размер которых в 5 раз меньше размера этих отверстий, за счет передачи им больших значений касательной составляющей скорости.

#### Выводы и предложения.

Движение механических частиц примеси в жидкости у поверхности дискретно перфорированного цилиндра является сложным многофакторным процессом. Однако использование современных апробированных подходов и средств вычислительной гидродинамики с учетом допущений принятых на основе модели “пассивной примеси” позволяют максимально приближенно описать этот процесс.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что на поверхности дискретно перфорированного фильтроэлемента возможно возникновение гидродинамического эффекта очистки уже при достаточно малых вращательных числах Рейнольдса. Также показано наличие “буферной зоны”, которая не позволяет частицам примеси взаимодействовать с поверхностью фильтроэлемента, что положительно влияет на эффективность очистки. Неравномерность распределения жидкости вдоль фильтроэлемента положительно сказывается на прохождении частиц в фильтрат в отверстиях расположенных возле входного сечения, где условия для гидродинамической очистки не выполняются. Увеличение угловой скорости вращения фильтроэлемента благоприятно сказывается на эффективности очистки вследствие перекрытия набегающим потоком отверстий цилиндра.

В данной постановке были рассмотрены режимы устойчивого течения жидкости, когда у пове-

рхности фильтроэлемента наблюдается установившееся ламинарное течение, и не охватывались режимы неустойчивости с образованием вторичных вихревых включений. В дальнейшем целесообразно рассмотреть влияние вторичных включений на эффективность фильтрации жидкости с помощью ротационного фильтра с дискретно перфорированным вращающимся цилиндром и бункером для осадка.

#### Список литературы:

1. Mochalin, Ievgen V., and Artem A. Khalatov. "Centrifugal instability and turbulence development in Taylor-Couette flow with forced radial throughflow of high intensity." *Physics of Fluids* 27.9 (2015): 4102.
2. Мочалин Є.В., Браженко В.М. Аналіз руху твердих завислих часток у ротаційному фільтрі очищення рідин з накопичувальним бункером / Промислова гідраліка і пневматика. – 2015. – № 1 – С. 3– 9.
3. Мочалин Є.В., Браженко В.М. Вплив конструкції бункера у повнопотоковому гідродинамічному фільтрі на рух частинок домішок / Промислова гідраліка і пневматика. – 2015. – № 4 – С. 15– 20.
4. Мочалин Е.В. Браженко В.Н. Влияние вихрей Экмана на гидродинамику несущей жидкости в полнопоточном гидродинамическом фильтре с бункером / Молода наука. Технологія машинобудування: зб. Наук. Праць. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – №1 – С. 50-53
5. Мочалин Е.В. Браженко В.Н. Эффективность оседания частиц в полнопоточном гидродинамическом фильтре при изменении размера бункера / Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). – 2016. – Том 10. Випуск № 2 – С. 91– 99.
6. Ievgen Mochalin, Vladimir Brazhenko, Olesia Yashchuk An experimental research of the efficiency of a fluid mechanical cleaning by a rotary filter / Proceed-

ings of the 20<sup>th</sup> Conference for Lithuania Junior Researchers "Science - Future of Lithuania". – Vilnius, Lithuania, 12-13 May 2017. – p. 43-46.

7. Мочалин, Е.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил / Е.В.

Мочалин, А.А. Халатов.– Киев: Ин-т техн. теплотехники НАН Украины, 2010.– Т.8: Гидродинамика закрученного потока в ротационных фильтрах.– 428 с.

*Лопатин В.Ю., Еремеева Ж.В., Панов В.С., Мякишева Л.В., Воротыло С., Ковалев А.Ю., Морозова Е.В.,*

### **ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВ ЗАГОТОВОК ИЗ МЕХАНОСИНТЕЗИРОВАННОГО ПОРОШКА ТИТАНАТА ДИСПРОЗИЯ**

Лопатин В.Ю. – к.т.н, доцент кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» (Ленинский проспект, д.4, 119991, г. Москва. Т.: (495)638-44-09) Специалист в области порошковой металлургии.

Еремеева Ж.В. - докт. техн. наук, доцент кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» (Ленинский проспект, д.4, 119991, г. Москва. Т.: (495)638-44-09.). Специалист в области механохимического синтеза и порошковой металлургии.

Панов В.С. – профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» (Ленинский проспект, д.4, 119991, г. Москва. Т.: (495)638-44-09). Специалист в области механохимического синтеза.

Мякишева Л.В. – инженер кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» (Ленинский проспект, д.4, 119991, г. Москва. Т.: (495)638-44-09). Специалист в области механохимического синтеза.

Воротыло Степан – инженер, аспирант кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» (Ленинский проспект, д.4, 119991, г. Москва. Т.: (495)638-44-09). Специалист в области механохимического синтеза и порошковой металлургии.

Ковалев А.Ю – к.т.н, заведующий лабораторией рентгено-структурных исследований Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН. Тел. (49652) 46210. Специалист в области рентгеноструктурного фазового анализа.

Морозова Е.В. - аспирант кафедры «Металлургия» Московского государственного политехнического университета «Московский политех» (ул.Б.Семеновская, д.38 107023 г.Москва)

Целью данной работы было получение и исследование однофазных кристаллических нанопорошков титаната диспрозия  $Dy_2TiO_5$  и спеченных образцов на их основе.

Нанопорошки кристаллического титаната диспрозия были получены методом механохимического синтеза с использованием анатаза и оксида диспрозия в качестве исходных реагентов. Продолжительность механохимической обработки составляла 180 мин. Кристаллическая структура механохимически синтезированного  $Dy_2TiO_5$  соответствует высокотемпературной кубической модификации. Размеры частиц механохимически синтезированного титаната диспрозия составляли 20-30 нм.

Исследованы свойства полученных нанопорошков и консолидированных из них объемных образцов. Для сравнения использовались промышленные порошки  $Dy_2TiO_5$ , получаемые сплавлением оксидов.

Обнаружен распад фазы  $Dy_2TiO_5$  и образование метастабильной фазы  $DyTiO_3$  при спекании механохимически синтезированных нанопорошков, что противоречит классической фазовой диаграмме  $Dy_2O_3$ - $TiO_2$ . В случае спекания промышленных порошков  $Dy_2TiO_5$  подобный распад не наблюдался.

*Ключевые слова:* механохимический синтез, нанопорошки, титанат диспрозия

### **MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF $DY_2TiO_5$ SINGLE-PHASE CRYSTALLINE NANOPOWDERS**

*Eremeeva Z.V, Vorotilo S., Kovalev A.Y, Gofman A.A., Lopatin V.Y*

Eremeeva Z.V – full Dr.Sci., professor at the Department of powder metallurgy and functional coatings NUST MISIS (Leninsky Prospect str, 4, 119991, Moscow, T.: (495)638-44-09). Specialist in the field of mechanochemical synthesis and powder metallurgy.

Vorotilo S. – Ph.D. student, engineer at the Department of powder metallurgy and functional NUST MISIS (Leninsky Prospect str, 4, 119991, Moscow, T.: (495)638-44-09). Specialist in the field of mechanochemical synthesis and powder metallurgy

Lopatin V.Y. – Ph.D., assistant professor at the Department of powder metallurgy and functional NUST MISIS (Leninsky Prospect str, 4, 119991, Moscow, T.: (495)638-44-09). Specialist in the field of powder metallurgy.

Kovalev A.Y. – Ph.D., head of the laboratory of the XRD analysis in ISMAN RAS. Tel. (49652) 46210. Specialist in the field of XRD analysis. Morozova E.V. - Post-graduate student of the department "Metallurgy" of the Moscow State Polytechnic University "Moscow Polytechnic" (B. Semenovskaya st., 38 107023 Moscow)

Gofman A.A. – master course student at the Department of powder metallurgy and functional coatings NUST MISIS (Leninsky Prospect str, 4, 119991, Moscow, T.: (495)638-44-09). Specialist in the field of mechanochemical synthesis and powder metallurgy.

The goal of this work was to synthesize and investigate the mono-phase crystalline nanopowders of dysprosium titanate  $Dy_2TiO_5$  as well as sintered specimens.

Nanopowders of crystalline dysprosium titanate were produced by mechanochemically synthesized using the anatase and dysprosium oxide as the initial reagents. Mechanochemical synthesis duration was equal to 180 min. Synthesized  $Dy_2TiO_5$  nanopowders were of a high-temperature cubic modification. Particles size of mechanochemically synthesized  $Dy_2TiO_5$  was equal to 20-30 nm.

Properties of the synthesized nanopowders and sintered bulk materials were investigated. Commercial  $Dy_2TiO_5$  powders produced by the melting of the oxides were used for comparison. In the case of mechanochemically synthesized nanopowders, decomposition of  $Dy_2TiO_5$  and formation of metastable  $DyTiO_3$  was detected during the sintering, which contradicts to the classic phase diagram for the system. In the case of commercial  $Dy_2TiO_5$  powders, no phase decomposition was observed.

*Keywords:* mechanochemical synthesis, nanopowders, dysprosium titanate

**Введение**

Титанат диспрозия привлекает внимание исследователей в основном в связи с его высокой эффективностью поглощения нейтронов. В этом аспекте титанат диспрозия сравним с  $HfB_2$ ,  $B_4C$  и сплавами  $Ag-In-Cd$  [1-10].

Титанат диспрозия также обладает рядом специфических свойств, таких как высокие магнитокалорические свойства [11] и свойства спинового

льда [12-14]. Это многообещающий материал для датчиков [15,16], электронных [17] и фотонных [18,19] устройств.

Фазовая диаграмма для системы  $Dy_2O_3 - TiO_2$  показана на Рис. 1.

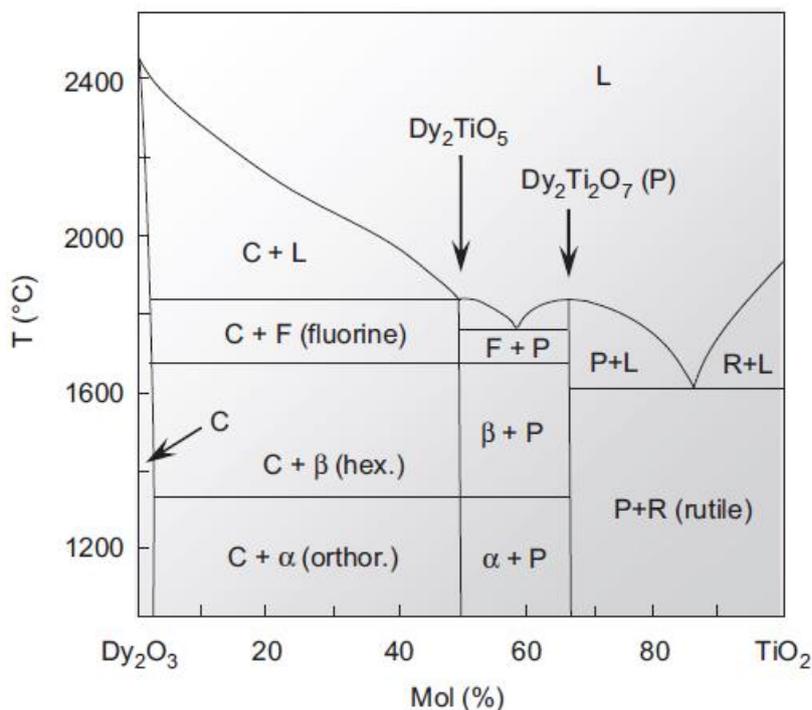


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы  $Dy_2O_3 - TiO_2$  [2]  
 Fig.1 Phase composition for the  $Dy_2O_3 - TiO_2$  system [2]

В системе присутствуют две фазы титаната диспрозия -  $Dy_2TiO_5$  и  $Dy_2Ti_2O_7$ .  $Dy_2Ti_2O_7$  имеет структуру пирохлора,  $Dy_2TiO_5$  может иметь несколько кристаллографических модификаций: орторомбическую, гексагональную и кубическую. При

этом  $Dy_2TiO_5$  имеет более высокое удельное содержание диспрозия и соответственно более высокое сечение захвата нейтронов [20-27].

Актуальной задачей является получение титаната диспрозия  $Dy_2TiO_5$  в виде нанопорошков. Ranneerselvam et al. [26] синтезировал титанат диспрозия  $Dy_2TiO_5$  путем растворения оксида диспрозия и титановой губки в концентрированном  $HNO_3$ . Раствор затем выпаривали с получением сухого порошка. Порошок прокачивали при 1673 K в течение 24 часов. Образец затем измельчали, чтобы получить порошки микронного размера [26]. Разложение полимерных прекурсоров использовалось для получения порошков титаната диспрозия, но этим методом тоже не удавалось изготовить нанопорошки [27].

Одним из наиболее перспективных методов, пригодных для производства высокодисперсных нанопорошков титаната диспрозия, является механохимический синтез [28-30].

Механохимический синтез в настоящее время широко используется для производства интерметаллических порошков, твердых растворов и аморфных порошков. В работах [30, 31] сообщалось о механохимическом синтезе аморфных нанопорошков в системе  $Dy_2O_3-TiO_2$ . Однако, так как у полученных порошков отсутствовала кристаллическая структура, невозможно сделать каких-либо выводов об их фазовом составе. Кроме того, в работе [30] было показано, что спекание аморфных нанопорошков не приводит к образованию однофазных спеченных образцов.

Целью данного исследования был синтез нанопорошков кристаллического титаната диспрозия путем механохимической обработки смеси оксида титана и диспрозия, а также исследование структуры и свойств синтезированных порошков и спеченных образцов.

#### Материалы и методы

В качестве исходных реагентов использовали низкотемпературную модификацию оксида диспрозия (ХЧ, чистота 99,8 %) и анатаз (ХЧ, чистота 99,6 %) производства ЗАО АНТАРН (Москва, Россия). Частицы оксида диспрозия имели осколочную форму и размер 3-6 мкм, частицы анатаза – овальную форму и размер 1 – 3 мкм.

Механохимический синтез проводили с использованием планетарной шаровой мельницы «Активатор-2С» с барабанами и шарами из отожженной стали. Были опробованы различные условия синтеза: скорость вращения водила составляла 600-900 оборотов в минуту; скорость вращения барабанов составляла 1000 - 1800 оборотов в минуту. Отношение шаров к порошковой смеси было равно (35-45): 1. Механохимический синтез проводили в атмосфере аргона при давлении, равном 3-5 атмосфер в течение 5-180 минут. Аргоновая

атмосфера использовалась для предотвращения окисления стальных барабанов и шаров во время механохимического синтеза, что могло привести к усилению загрязнения синтезированного материала железом. Загрязнение железом увеличилось с 0,1 до 1,2 мас.%, при увеличении продолжительности синтеза с 5 до 180 минут. Было установлено, что оптимальными являются следующие условия: частота вращения водила - 800 оборотов в минуту; частота вращения барабанов - 1200 оборотов в минуту, отношение масс шаров и шихты - 40: 1, продолжительность механохимического синтеза - 180 минут.

Для измерения распределения по размерам частиц порошков титаната диспрозия, полученных путем сплавления исходных оксидов с последующим измельчением продукта, использовали универсальное устройство для измерения размера частиц FRITTSCH ANALYSETTE 22 MicroTec plus с установкой мокрого диспергирования. Пределы измерения составляют от 0,08 до 2000 мкм, погрешность измерения соответствует ISO 13320.

РФА исходных оксидов и синтезированных порошков проводили с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-4. Сканирование проводилось с использованием излучения  $CuK\alpha$  в диапазоне  $2\theta$  углов от  $10^\circ$  до  $130^\circ$ .

Сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N, оснащенный энергодисперсионным спектрометром NORAN, использовался для исследования морфологии исходных порошков и синтезированного продукта.

Спекание образцов проводили при температуре  $1200^\circ C$  в атмосфере аргона, скорость нагрева составляла  $50^\circ C/мин$ , продолжительность изотермической выдержки – 1 час.

#### Результаты

Согласно данным РФА (Рис. 2), в случае механохимической обработки смеси  $TiO_2$  и  $Dy_2O_3$  в течение 15 мин в шихте присутствуют непрореагировавший оксид диспрозия  $Dy_2O_3$  и анатаз  $TiO_2$  (Рис. 2, а). Полная трансформация исходных оксидов в рентгеновский аморфный продукт происходит после механохимической обработки в течение 30 мин (Рис. 2, б). В случае механохимической обработки исходной смеси в течение 120 минут, РФА показывает начало образования новых кристаллических фаз (Рис. 2, в). Увеличение продолжительности механохимической обработки до 180 минут позволило получить однофазный кристаллический нанопорошок титаната диспрозия  $Dy_2TiO_5$  в виде высокотемпературной ГКЦ-модификации (Рис. 2, г).

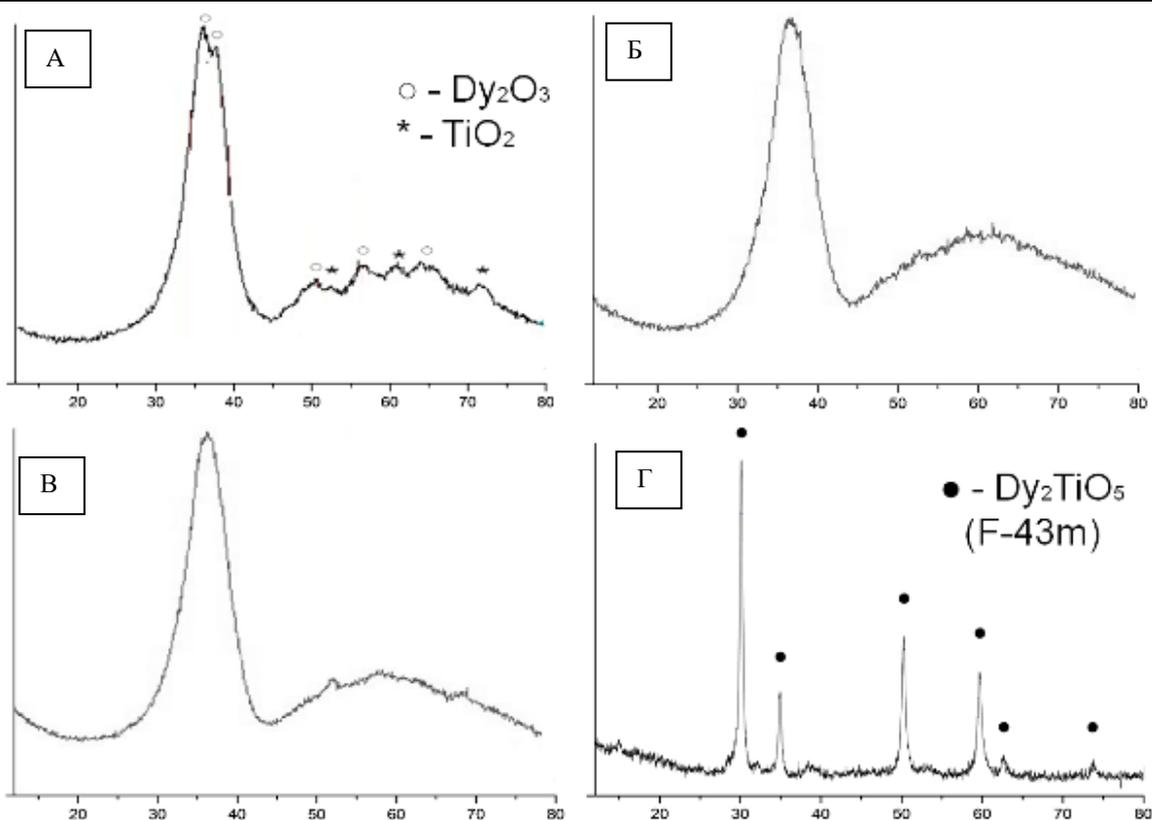


Рис. 2 - Дифрактограммы смеси  $Dy_2O_3$  и  $TiO_2$  после механохимической обработки различной продолжительности:  
 а) 15 мин, б) 30 мин, в) 120 мин, г) 180 мин.

Микроструктура порошков  $Dy_2TiO_5$  после 180 мин МА показана на Рис. 3.

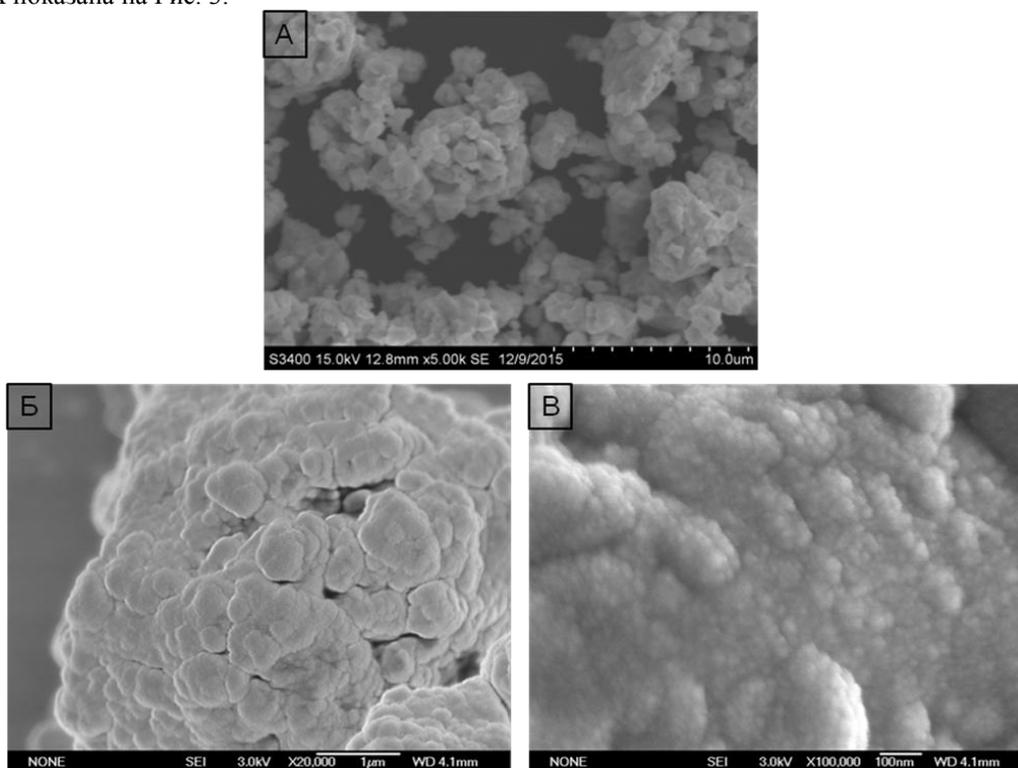


Рис. 3. Механохимически синтезированный продукт:  
 а) агломераты, состоящие из наночастиц  $Dy_2TiO_5$ , б) агломераты  $Dy_2TiO_5$  крупным планом, в) наночастицы  $Dy_2TiO_5$  крупным планом.

На Рис. 3 видно, что механосинтезированные порошки имеют иерархическую структуру: агломераты размером 2-5 мкм (Рис. 3, а) состоят из субагломератов размером до 0,5 мкм (Рис. 3, б), которые в свою очередь состоят из наночастиц  $Dy_2TiO_5$  размером 20-30 нм.

Результаты измерения распределения частиц по размерам для коммерческих и механохимически синтезированных порошков  $Dy_2TiO_5$  показаны на Рис. 4.

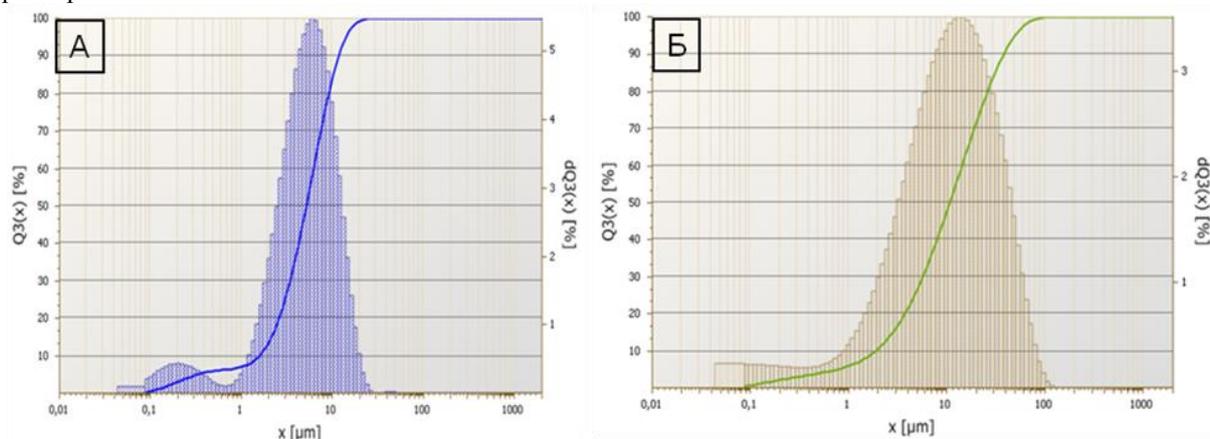


Рис. 4 - Распределение частиц по размерам порошка а)  $Dy_2TiO_5$ , полученного путем механохимического синтеза в течение 180 мин; Б) коммерческий порошок  $Dy_2TiO_5$

Для сравнения на Рис. 4, б показана кривая распределения частиц по размерам для порошков титаната диспрозия, полученная путем обычной индукционной плавки исходных смесей оксидов и последующего измельчения синтезированного продукта. Размер большинства частиц порошка титаната промышленного диспрозия варьирует от 5 до 60 мкм. Однако в случае коммерческого порошка все изме-

ренные частицы монолиты; Тогда как в случае порошка механохимического синтеза они представляют собой агломераты наночастиц размером 20-30 нм (Рис. 3).

В таблице 1 приведены некоторые свойства коммерческих и механохимически синтезированных порошков  $Dy_2TiO_5$ .

Таблица 1

Свойства коммерческих и механохимически синтезированных порошков  $Dy_2TiO_5$

Материал	Текучесть, с	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Площадь удельной поверхности, м <sup>2</sup> /г	Размер частиц агломератов, мкм	Размер частиц, мкм
$Dy_2TiO_5$ , механохимич	Не течет	1,27	12.0–32.4	0.5 – 1.0	0.05-0.2
$Dy_2TiO_5$ , коммерческий	Не течет	5,3	3.7 – 5.2	20 – 30	5 - 10

Кривые прессования порошков  $Dy_2TiO_5$  представлены на Рис. 5.

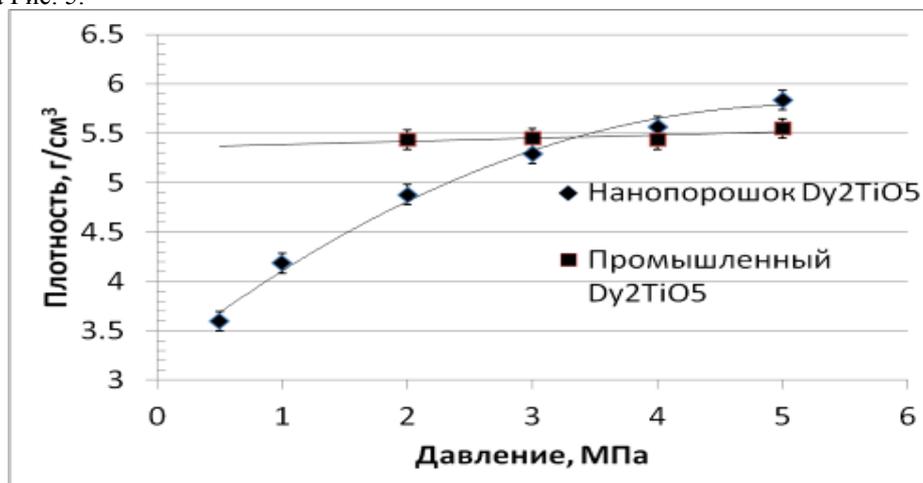


Рис. 5 – Кривые прессования коммерческого порошка  $Dy_2TiO_5$  и механохимически синтезированного нанопорошка  $Dy_2TiO_5$ .

Хотя объемная плотность нанопорошка  $Dy_2TiO_5$  более чем в 4 раза ниже, чем для коммерческого порошка  $Dy_2TiO_5$ , прессовки, изготовленные из нанопорошка, имели более высокую плотность при давлении 800 МПа и выше (Рис. 5).

На Рис. 6 показано СЭМ-изображение микро-структуры образцов спеченного титаната диспрозия, полученного из коммерческого порошка (Рис. 6, а) и из синтезированного порошка аморфного титаната диспрозия (Рис. 6, б).

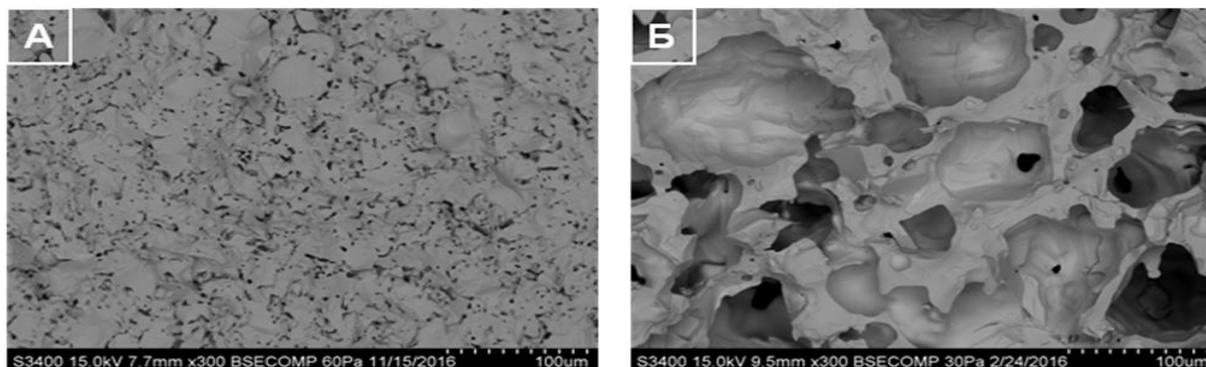


Рис. 6 - Микроструктура образцов титаната диспрозия, полученных из коммерческих (а) и механохимически синтезированных (б) порошков.

На Рис. 7 показаны рентгенограммы спеченных образцов промышленного и механосинтезированного титаната диспрозия.

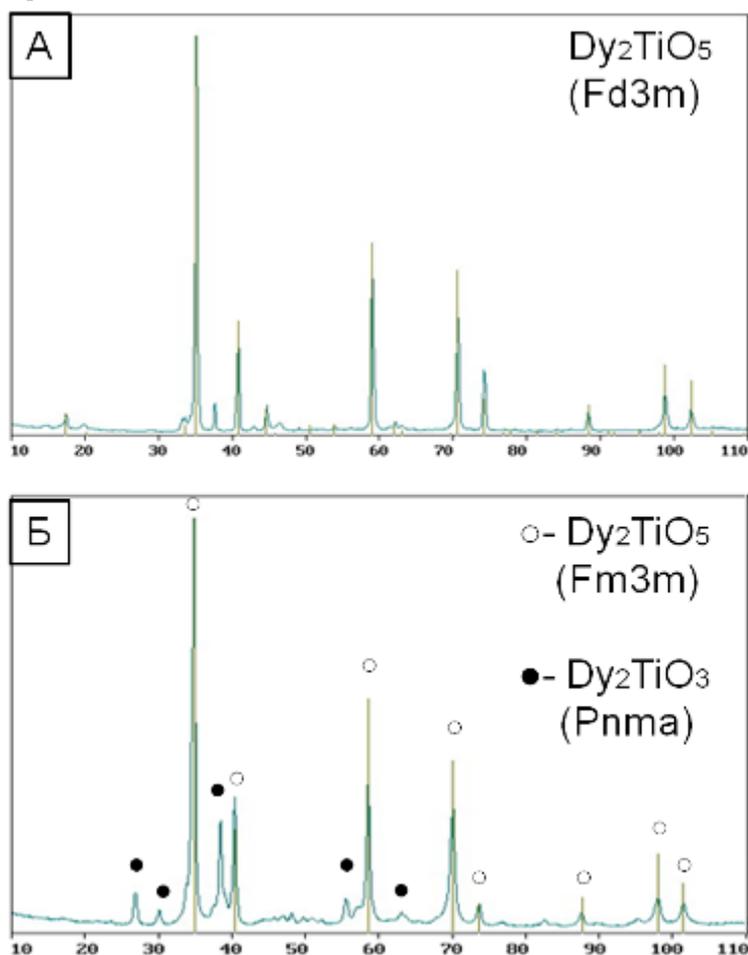


Рис. 7. Рентгенограммы спеченных образцов промышленного (а) и механосинтезированного (б) титаната диспрозия.

Как видно из Рис. 7, образцы, полученные спеканием промышленного и механосинтезированного  $Du_2TiO_5$ , имеют различный фазовый состав после спекания при  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . В случае спекания промышленного порошка образуется однофазная структура  $Du_2TiO_5$  (стр. Fd3m), в случае же спекания механосинтезированного нанопорошка - смесь кубического  $D2TiO5$  (стр. Fm3m) и орторомбического  $DuTiO3$  (стр. Pnma)

### Обсуждение

J.Huang с соавторами [30] получили аморфные нанопорошки  $Du_2TiO_5$  путем механохимического синтеза, используя режимы 500 и 200 оборотов в минуту (об/мин). В случае режима 200 об/мин в ходе механохимической обработки аморфизация смеси порошков не достигалась даже после 96 ч. В случае режима 500 об/мин аморфизация была достигнута только после 48 часов механохимической обработки. В [28] Garcia-Martinez с соавторами использовали режим 350 об / мин и не смогли достичь полной аморфизации смеси  $TiO_2 + Du_2O_3$  после 19-часовой механохимической обработки. Используя режим 1200 об/мин, мы достигли полной аморфизации исходной смеси  $TiO_2 + Du_2O_3$  за 30 минут, а после 180 минут обработки добились получения однофазного нанокристаллического титаната диспрозия (Рис. 2,3).

J.Huang с соавторами [30] исследовали кристаллизацию механосинтезированных аморфных нанопорошков посредством отжига аморфных порошков при различных температурах с последующим РФА. Согласно их результатам, кристаллизация аморфных нанопорошков начиналась после нагрева до  $800\text{ }^\circ\text{C}$  с образования метастабильной кубической фазы. После отжига при  $900\text{ }^\circ\text{C}$  в образце присутствовали моноклинный  $Du_2O_3$  и  $Du_2Ti_2O_7$  со структурой пирохлора. В случае же отжига при  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  и выше, в образцах содержалась одна фаза – орторомбический  $Du_2TiO_5$ .

В данной работе спекались промышленные и механосинтезированные порошки титаната диспрозия высокотемпературной кубической модификации. При этом спекание промышленного порошка привело к образованию однофазной структуры  $Du_2TiO_5$  (стр. Fd3m), а спекание при тех же условиях механосинтезированного нанопорошка титаната диспрозия привело к образованию двухфазной структуры: кубического  $D2TiO5$  (стр. Fm3m) и орторомбического  $DuTiO3$  (стр. Pnma).  $DuTiO3$  – метастабильная фаза, не отмеченная на фазовой диаграмме (Рис.2). Данная фаза в равновесных условиях должна разлагаться на  $Du_2TiO_5$  и монооксид титана  $TiO$ .

Интересно также, что значительно отличались не только фазовые составы спеченных образцов промышленного и механосинтезированного титаната диспрозия, но и их микроструктура (Рис. 6). Образец, изготовленный из коммерческого порошка  $Du_2TiO_5$ , имел структуру с однородно распределенными порами со средним диаметром пор

до 10 микрон. Однако образец, полученный путем спекания нанопорошка, имел сотовую структуру: поры диаметром до 120 мкм были окружены стенками, которые, в свою очередь, содержали отдельные поры диаметром до 10 мкм.

Это различие также может быть связано с особенностями фазовых превращений в случае промышленного и механохимически синтезированного титаната диспрозия.

Для тщательного изучения механизмов фазового превращения в системе  $Du_2O_3-TiO_2$ , необходимо использовать дифференциальную сканирующую калориметрию и отжиг с *in situ* исследованиями (РФА, ПЭМ, СЭМ). Это станет следующим шагом нашей работы.

### Выводы

1. Механохимический синтез в течение 180 минут позволяет получать нанопорошки кристаллического титаната диспрозия с более высокой прессуемостью, нежели у коммерческого порошка.

2. При спекании механосинтезированных порошков  $Du_2TiO_5$  в составе образца присутствует метастабильная фаза орторомбического  $DuTiO3$ , которой не наблюдается при спекании промышленных порошков  $Du_2TiO_5$ . Литературные данные также указывают на возможность образования кубической метастабильной фазы при низкотемпературном отжиге механосинтезированных нанопорошков.

3. Образцы, полученные при спекании нанопорошков титаната диспрозия, имели сотовую структуру с упорядоченной пористостью, тогда как образцы, полученные при спекании коммерческих порошков, имели однородную структуру.

**Статья выполнена в рамках проекта РФФИ №17-08-00204**

### Использованные источники

1. Sickafus K.E. et al. Radiation-induced amorphization resistance and radiation tolerance in structurally related oxides // *Nat. Mater.* 2007. Vol. 3. P. 217–223.

2. Gosset D. 15 - Absorber materials for Generation IV reactors // *Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors.* Elsevier Ltd, 2017. 533-567 p.

3. Atomic I., Agency E. control as СЭМ by materials for water reactors. 1993. № December.

4. Risovany V.D. et al. Dysprosium hafnate as absorbing material for control rods // *J. Nucl. Mater.* 2006. Vol. 355. P. 163–170.

5. Risovany V.D., Varlashova E.E., Suslov D.N. Dysprosium titanate as an absorber material for control rods // *J. Nucl. Mater.* 2000. Vol. 281. P. 84–89.

6. Kim H.S. et al. Properties of Dysprosium Titanate as a Control Rod Material. 2007. P. 10–11.

7. Zhang J. et al. Ion-irradiation-induced structural transitions in orthorhombic  $Ln_2TiO_5$  // *Acta Mater. Acta Materialia Inc.*, 2013. Vol. 61, № 11. P. 4191–4199.

8. Sinha A., Sharma B.P. Development of Dysprosium Titanate Based Ceramics // *J. Am. Ceram.*

Soc. 2005. Vol. 88, № 8. P. 1064–1066.

9. Krasnorutskii V.S. et al. Hot Pressing Of Dysprosium Hafnate And Titanate Pellets. 2012. Vol. 50, № 11. P. 708–713.

10. Galahom A.A. Investigation of different burnable absorbers effects on the neutronic characteristics of PWR asCЭMбly // Annu. Nucl. ENERGY. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 94. P. 22–31.

11. Su Y. et al. Large magnetocaloric properties in single-crystal dysprosium titanate // Mater. Lett. Elsevier B.V., 2012. Vol. 72. P. 15–17.

12. Sakakibara T. et al. Liquid – gas transition in the spin-ice dysprosium titanate // J. Magn. Magn. Mater. 2004. Vol. 276. P. 1312–1313.

13. Scharffe S. et al. Heat transport of the spin-ice materials Ho<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> // J. Magn. Magn. Mater. Elsevier, 2014. P. 1–5.

14. Lau G.C.Å. et al. Stuffed rare earth pyrochlore solid solutions. 2006. Vol. 179. P. 3126–3135.

15. Pan T., Lin C. Structural and Sensing Characteristics of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Electrolyte - Insulator - CЭMiconductor pH Sensors // J. Phys. Chem. 2010. Vol. 114. P. 17914–17919.

16. Lin Y. et al. Integrating solid-state sensor and microfluidic devices for glucose, urea and creatinine detection based on enzyme-carrying alginate microbeads // Biosens. Bioelectron. Elsevier, 2013. Vol. 43. P. 328–335.

17. Chen F., Pan T. Physical and Electrical Properties of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Metal Oxide – High- k Oxide – Silicon-Type Nonvolatile Memory Devices // J. Electron. Mater. 2012. Vol. 41, № 8. P. 2197–2203.

18. Potel M. et al. Sol-gel synthesis and crystallization kinetics of dysprosium-titanate Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> for photonic applications // Mater. Chem. Phys. 2015. Vol. 168. P. 159–167.

19. Renuka N.K., Akhila A.K. Preparation and photocatalytic activity of anatase titania modified with dysprosium oxide // J. Chem. Pharm. Sci. 2016. № 1. P. 79–84.

20. Xiao H.Y. et al. Theoretical investigation of structural, energetic and electronic properties of titanate pyrochlores // J. Phys. Condens. MATTER. 2007. Vol. 19.

21. Lang M. et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B Review of A2B2O7 pyrochlore response to irradiation and pressure // Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B. Elsevier B.V., 2010. Vol. 268, № 19. P. 2951–2959.

22. Lian J. et al. Ion beam implantation and cross-sectional ПЭМ studies of lanthanide titanate pyrochlore single crystals // Nucl. Instruments Methods Phys. Res. B. 2005. Vol. 241. P. 365–371.

23. Lumpkin G.R. et al. Nature of the chemical bond and prediction of radiation tolerance in pyrochlore and defect fluorite compounds // J. Solid State Chem. 2007. Vol. 180. P. 1512–1518.

24. Guo X. et al. Neutron adsorption performance of Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> materials obtained from powders synthesized by the molten salt method // Ceram. Int. 2016. № In Press.

25. Yu J. et al. Microwave assisted synthesis of

Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ultrafine powders by sol-gel method // Ceram. Int. 2016. Vol. In Press.

26. Panneerselvam G. et al. Thermophysical measurements on dysprosium and gadolinium titanates // J. Nucl. Mater. 2004. Vol. 327. P. 220–225.

27. Jung C., Kim C., Lee S. Synthesis and sintering studies on Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> prepared by polymer carrier chemical process // J. Nucl. Mater. 2006. Vol. 354. P. 137–142.

28. Garcia-Martinez G. et al. Phase evolution induced by mechanical milling in Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: TiO<sub>2</sub> mixtures ( Ln = Gd and Dy ) // Powder Technol. 2005. Vol. 152. P. 72–78.

29. Fuentes A.F. et al. Synthesis of disordered pyrochlores, A<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ( A = Y, Gd and Dy ), by mechanical milling of constituent oxides // Solid State Sci. 2005. Vol. 7, № 4. P. 343–353.

30. Huang J. et al. Microstructural Evolution of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Powder Mixtures during Ball Milling and Post-Milled Annealing // Materials (Basel). 2017. Vol. 10, № 1. P. 14–19.

31. Еремеева Ж.В., Панов В.С., Мякишева Л.В., Лизунов А.В., Непалушев А.А., Сидоренко Д.А., Павлик А.В., Апостолова Е.В. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКА ТИТАНАТА ДИСПРОЗИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕХАНОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ. Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2017;(1):11-19.

## References

1. Sickafus K.E. et al. Radiation-induced amorphization resistance and radiation tolerance in structurally related oxides // Nat. Mater. 2007. Vol. 3. P. 217–223.

2. Gosset D. 15 - Absorber materials for Generation IV reactors // Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors. Elsevier Ltd, 2017. 533-567 p.

3. Atomic I., Agency E. control asCЭMбly materials for water reactors. 1993. № December.

4. Risovany V.D. et al. Dysprosium hafnate as absorbing material for control rods // J. Nucl. Mater. 2006. Vol. 355. P. 163–170.

5. Risovany V.D., Varlashova E.E., Suslov D.N. Dysprosium titanate as an absorber material for control rods // J. Nucl. Mater. 2000. Vol. 281. P. 84–89.

6. Kim H.S. et al. Properties of Dysprosium Titanate as a Control Rod Material. 2007. P. 10–11.

7. Zhang J. et al. Ion-irradiation-induced structural transitions in orthorhombic Ln<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> // Acta Mater. Acta Materialia Inc., 2013. Vol. 61, № 11. P. 4191–4199.

8. Sinha A., Sharma B.P. Development of Dysprosium Titanate Based Ceramics // J. Am. Ceram. Soc. 2005. Vol. 88, № 8. P. 1064–1066.

9. Krasnorutskii V.S. et al. Hot Pressing Of Dysprosium Hafnate And Titanate Pellets. 2012. Vol. 50, № 11. P. 708–713.

10. Galahom A.A. Investigation of different burnable absorbers effects on the neutronic characteristics of PWR asCЭMбly // Annu. Nucl. ENERGY. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 94. P. 22–31.

11. Su Y. et al. Large magnetocaloric properties in single-crystal dysprosium titanate // *Mater. Lett. Elsevier B.V.*, 2012. Vol. 72. P. 15–17.
12. Sakakibara T. et al. Liquid – gas transition in the spin-ice dysprosium titanate // *J. Magn. Magn. Mater.* 2004. Vol. 276. P. 1312–1313.
13. Scharffe S. et al. Heat transport of the spin-ice materials Ho<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> // *J. Magn. Magn. Mater. Elsevier*, 2014. P. 1–5.
14. Lau G.C.Á. et al. Stuffed rare earth pyrochlore solid solutions. 2006. Vol. 179. P. 3126–3135.
15. Pan T., Lin C. Structural and Sensing Characteristics of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Electrolyte - Insulator - CМiconductor pH Sensors // *J. Phys. Chem.* 2010. Vol. 114. P. 17914–17919.
16. Lin Y. et al. Integrating solid-state sensor and microfluidic devices for glucose, urea and creatinine detection based on enzyme-carrying alginate microbeads // *Biosens. Bioelectron. Elsevier*, 2013. Vol. 43. P. 328–335.
17. Chen F., Pan T. Physical and Electrical Properties of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> Metal Oxide – High- k Oxide – Silicon-Type Nonvolatile Memory Devices // *J. Electron. Mater.* 2012. Vol. 41, № 8. P. 2197–2203.
18. Potel M. et al. Sol-gel synthesis and crystallization kinetics of dysprosium-titanate Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> for photonic applications // *Mater. Chem. Phys.* 2015. Vol. 168. P. 159–167.
19. Renuka N.K., Akhila A.K. Preparation and photocatalytic activity of anatase titania modified with dysprosium oxide // *J. Chem. Pharm. Sci.* 2016. № 1. P. 79–84.
20. Xiao H.Y. et al. Theoretical investigation of structural, energetic and electronic properties of titanate pyrochlores // *J. Phys. Condens. MATTER.* 2007. Vol. 19.
21. Lang M. et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B Review of A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> pyrochlore response to irradiation and pressure // *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B. Elsevier B.V.*, 2010. Vol. 268, № 19. P. 2951–2959.
22. Lian J. et al. Ion beam implantation and cross-sectional ПЭМ studies of lanthanide titanate pyrochlore single crystals // *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. B.* 2005. Vol. 241. P. 365–371.
23. Lumpkin G.R. et al. Nature of the chemical bond and prediction of radiation tolerance in pyrochlore and defect fluorite compounds // *J. Solid State Chem.* 2007. Vol. 180. P. 1512–1518.
24. Guo X. et al. Neutron adsorption performance of Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> materials obtained from powders synthesized by the molten salt method // *Ceram. Int.* 2016. № In Press.
25. Yu J. et al. Microwave assisted synthesis of Dy<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ultrafine powders by sol-gel method // *Ceram. Int.* 2016. Vol. In Press.
26. Panneerselvam G. et al. Thermophysical measurements on dysprosium and gadolinium titanates // *J. Nucl. Mater.* 2004. Vol. 327. P. 220–225.
27. Jung C., Kim C., Lee S. Synthesis and sintering studies on Dy<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> prepared by polymer carrier chemical process // *J. Nucl. Mater.* 2006. Vol. 354. P. 137–142.
28. Garcia-Martinez G. et al. Phase evolution induced by mechanical milling in Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: TiO<sub>2</sub> mixtures (Ln = Gd and Dy) // *Powder Technol.* 2005. Vol. 152. P. 72–78.
29. Fuentes A.F. et al. Synthesis of disordered pyrochlores, A<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (A = Y, Gd and Dy), by mechanical milling of constituent oxides // *Solid State Sci.* 2005. Vol. 7, № 4. P. 343–353.
30. Huang J. et al. Microstructural Evolution of Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Powder Mixtures during Ball Milling and Post-Milled Annealing // *Materials (Basel)*. 2017. Vol. 10, № 1. P. 14–19.
31. Yeremeyeva ZH.V., Panov V.S., Myakisheva L.V., Lizunov A.V., Nepapushev A.A., Sidorenko D.A., Pavlik A.V., Apostolova Ye.V. СТРУКТУРА І СВОЙСТВА ПОРОШКА ТИТАНАТА ДИПРОЗИЯ, ПОЛУЧЕНОГО МЕХАНОХІМІЧЕСКИМ СПОСОБОМ. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nyye pokrytiya.* 2017;(1):11-19

*Leonov V.Ye.*

*Doctor of technical sciences, professor  
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

*Леонов В.Е.*

*Доктор технических наук, профессор  
Херсонская государственная морская академия (Украина)*

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE PROTECTION  
OF THE AIR BASIN IN THE OPERATION OF SHIPS.  
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ЗАЩИТЕ ВОЗДУШНОГО  
БАСЕЙНА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ.**

**Summary:** The analysis and generalization of the requirements of international regulatory and legislative acts to the permissible level of toxicity of exhaust gases of vehicle engines (EG VEN) and ship power plants (EG SPP) was conducted, as a result of which it was established that the requirements for EG VEN in to a considerable extent "tougher" in comparison with the requirements for EG SPP. Studies have been carried out to reduce the toxicity of exhaust gas from the EG SPP using the developed effective catalysts. Practical recommendations have been developed to improve economic efficiency and environmental safety, in particular, to protect the air basin, while operating marine vessels. It should be noted that in this case, one-directionality of the two vectors-economic and ecological-is realized, which in practice is extremely rare.

**Key words:** control, air pool, toxicity, exhaust gases, marine power plants, catalysts, absolute, prevented damage.

**Аннотация:** Проведен анализ и обобщение требований международных нормативно-правовых и законодательных актов к допустимому уровню токсичности отработанных газов двигателей транспортных средств (ОГ ДТС) и судовых энергетических установок (ОГ СЭУ), в результате которого было установлено, что требования, предъявляемые к ОГ ДТС в значительной степени «жестче» по сравнению с требованиями—к ОГ СЭУ. Выполнены исследования по снижению токсичности ОГ СЭУ с помощью разработанных эффективных катализаторов. Разработаны практические рекомендации по повышению экономической эффективности и экологической безопасности, в частности, защиты воздушного бассейна, при эксплуатации морских судов. Следует отметить, что в данном случае реализуется однонаправленность двух векторов—экономического и экологического, что на практике встречается крайне редко.

**Ключевые слова:** контроль, воздушный бассейн, токсичность, отработанные газы, судовые энергетические установки, катализаторы, абсолютный, предотвращенный ущерб.

**Постановка проблемы.** Одним из приоритетных направлений деятельности Европейского Союза (ЕС) является создание «зеленой», экологически безопасной Зоны, для стран, входящих в ЕС [1,2].

Транспорт и его инфраструктура являются наиболее значимыми загрязнителями воздушного бассейна (75-80% от общего объема эмиссии), окружающей среды. По данным экспертов Международной Организации Здравоохранения более 0,5 млн. граждан ЕС ежегодно умирают из-за неудовлетворительного качества воздушного бассейна, доля на первый взгляд небольшая 0,14 %, с одной стороны, но с другой—превосходит количество летальных исходов на автомобильном транспорте. Несмотря на незначительную долю (0,14 %) летального исхода от загрязнения воздушного бассейна каждый гражданин ЕС не хотел бы оказаться в этой «доле».

Следует отметить, что по составу и функциональному влиянию на человека, биосферу отработанные газы двигателей транспортных средств (ОГ ДТС, автомобили) и судовых энергетических установок (ОГ СЭУ) находятся практически на одном уровне и включают в себя более 250 наименований вредных токсичных веществ и соединений с первого по четвертый классы опасности—особо токсичные, токсичные, умеренно токсичные, нетоксичные [3]. В тоже время Директивы ЕС к уровню токсичности выбросов ДТС и СЭУ значительно различаются, более «жестче»—к выбросам ДТС. Возникает вопрос—**Почему?**, ведь экология, загрязнение окружающей среды трансграничны.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ЕС для снижения уровня токсичности ОГ ДТС используют три направления:

1) оптимизация и совершенствование конструктивных особенностей ДТС;

2) улучшение эксплуатационных характеристик топлива, а именно, разработка и использование высокооктановых бензиновых и высокоцетановых дизельных топлив, синтетических присадок к автомобильным топливам, позволяющим снизить выбросы токсичных веществ и соединений;

3) установка на борту автомобилей ДТС каталитических нейтрализаторов отработанных газов—катализаторов, содержащих драгоценные, редкоземельные металлы и их соединения.

В соответствии с этими направлениями происходит удорожание эксплуатации автомобилей ДТС.

В Северной части ЕС для снижения уровня токсичности ОГ СЭУ (Балтийское, Северное моря, пролив Ла-Манш) используют только одно направление --улучшение качества судового дизельного топлива, а именно, в Зоне особого контроля SECA используют низкосернистое топливо[1,8,9]..

В последнее время появились научно-технические публикации о целесообразности перевода судовых энергетических установок на сжиженный природный газ (СПГ, LNG), экологически чистое топливо – водород, сероводород.[6,8--10,15].

В ЕС на ОГ ДТС действуют требования EURO-V, VI, существенно ограничивающие уровень токсичности отработанных газов двигателей транспортных средств.

На выбросы отработанных газов судовых энергетических установок морского транспорта распространяются директивы ЕС, Международной Морской Организации (ММО) и ее комитетов [1,2].

При сравнении вышеуказанных требований к уровню токсичности ОГ ДТС и ОГ СЭУ следует отметить существенное расхождение в абсолютных значениях по основным токсичным компонентам.

В состав ОГ ДТС и СЭУ входят токсические вещества и соединения, которые по функциональному назначению можно разделить следующим образом [3,6,8] :

1) «кислотообразующие» компоненты –  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , которые приводят к образованию в атмосфере минеральных кислот и выпадению «кислотных» дождей;

2) компоненты «парниковых» газов – пары воды, диоксид углерода, сажа, углеводороды ( $\text{CH}_x$ ), оксиды азота, которые приводят к развитию «парникового» эффекта;

3) вещества и соединения, содержащие хлор, фтор, углерод, углеводороды, приводящие к разрушению «озонового» слоя Планеты;

4) углеводороды, которые приводят к загрязнению окружающей, морской среды;

5) соединения тяжелых металлов, загрязняющих морскую, окружающую среду и ингибирующих жизнедеятельность биосферы.

С 1 января 2015 года вступила в силу глава IV, правило 22 к Приложению VI MARPOL – 73/78 по вопросу ограничения выбросов сернистых соединений, содержащихся в отработанных газах судовых

энергетических установок [1]. Это достигается за счет использования низкосернистого судового топлива ( не более 0,1% масс ) в Зонах особого контроля. Перечислены морские бассейны и районы SO<sub>x</sub> Emission Control Areas-- SECA и ECA – зоны контроля за выбросами соединений серы, где в первую очередь, контролируются выборы оксидов

серы и где установлены ограничения на содержание серосоединений в судовом топливе В зону SECA входят акватории Северного и Балтийского морей, пролива Ла-Манш (рис .1), в зону ECA входят морские акватории, прилегающие к Западному и Восточному побережьям Северной Америки, Канады, а также Карибские острова.(рис. 2).

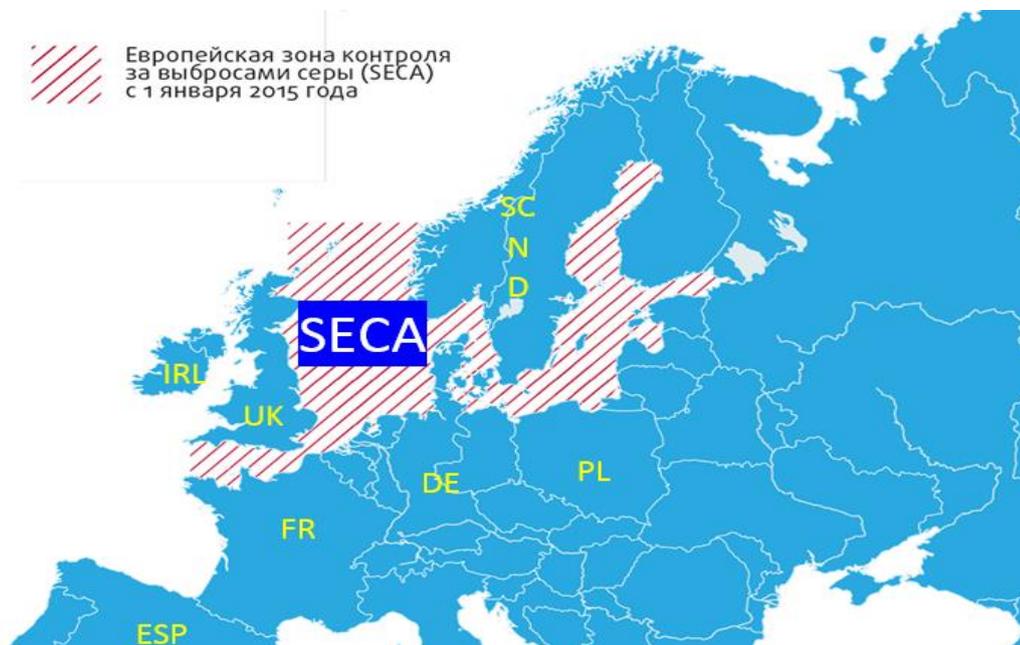


Рисунок 1 – Зона особого контроля SECA для международного судоходства

В Приложении VI MARPOL - 73/78 (Правило 13 «Окислы азота») району Балтийского моря придается статус «района контроля выбросов окислов азота с судов» (NO<sub>x</sub> Emission Control Area - NECA) [1].

Уровень выбросов оксидов азота с судов, построенных 1 января 2016 года или после этой даты и эксплуатирующихся в пределах района контроля выбросов NO<sub>x</sub>, должен соответствовать стандартам

Уровня 3, установленным указанным приложением Конвенции.

Дополнение к Приложению VI MARPOL 73/78 официально учреждают Североамериканскую Зону Контроля за Выбросами (North American Emission Control Area), в которой более строгому контролю будут подвергаться выбросы оксидов серы (SO<sub>x</sub>), азота (NO<sub>x</sub>) .

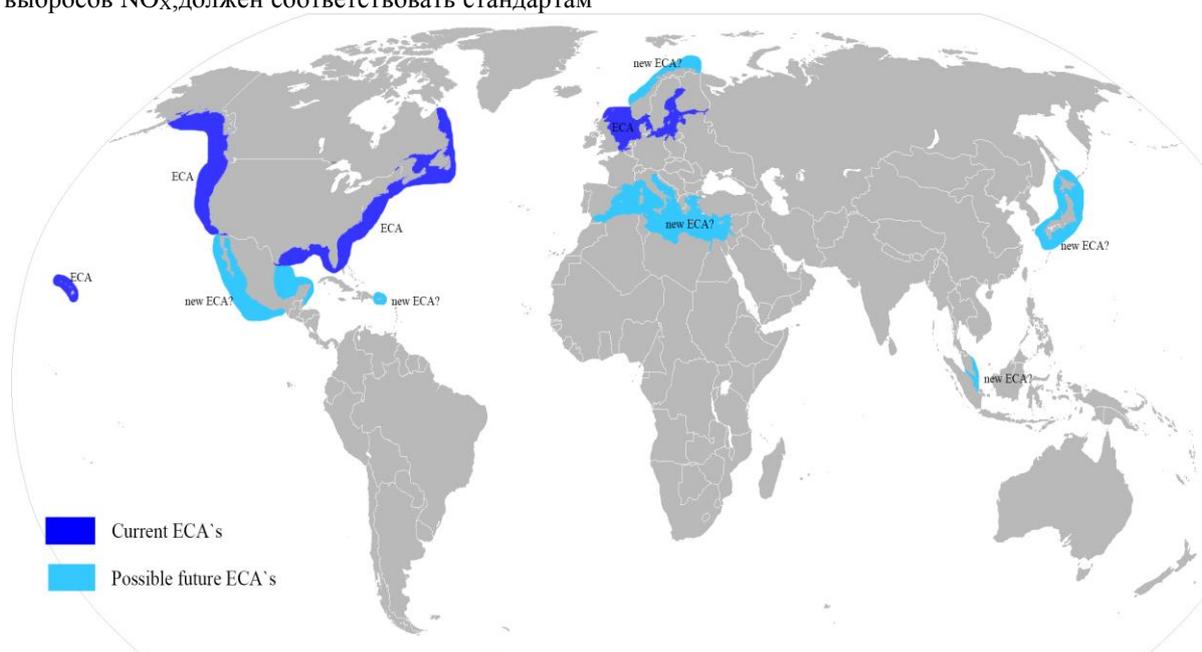


Рисунок 2 – Зона особого контроля для международного судоходства – действующие и перспективные

Требования по ограничениям выбросов оксидов азота (NO<sub>x</sub>), изложенные в Приложении VI МАРПОЛ-73/78, относятся к дизелям, мощностью более 130 кВт, установленным на судах после 1 января 2000г. [1].

В соответствии с этими правилами эксплуатация дизеля запрещается, если выбросы оксидов азота, рассчитанные как полный взвешенный выброс NO<sub>x</sub>, превышают следующие значения:

**17г/(кВт ×ч) при n <130 об/мин;**

**45×n<sup>-0,2</sup>г/(кВт ×ч) при n >130 об/мин, но n <2000 об/мин;**

**9,8г/(кВт ×ч) при n >2000 об/мин,**

где n – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

Требования по ограничению выбросов оксидов серы (SO<sub>x</sub>) увязаны с районами контроля выбросов SO<sub>x</sub> и состоят в следующем:

– содержание соединений серы в любом жидком топливе, используемом на судне, не должно превышать 3,5% масс, а для районов контроля за выбросами SO<sub>x</sub> –SECA, ECA не должно превышать 0,1% масс;

– выброс соединений серы с судна (главные и вспомогательные двигатели) не должен превышать 6г/(кВт ×час), если это не обеспечивается техническими характеристиками СЭУ, то на судне должна

применяться система очистки отработанных газов от серосоединений;

В соответствии с Приложением VI "Правил предотвращения загрязнения атмосферы с судов" Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов от 1973 г., изменённой Протоколом от 1978 г. к ней (Конвенция МАРПОЛ-73/78) и Технического Кодекса NO<sub>x</sub>, предусматриваются более жёсткие требования к содержанию соединений серы в судовом топливе во всём мире (вне зон ECA «Emission Control Area»):

– 3,50 % масс с 1 января 2012 года;

– 0,50 % масс с 1 января 2020 года.

15 мая 2015 года Комитет по защите Морской Среды Международной Морской Организации Резолюцией МЕРС.259(68) обновил Руководство 2009 года по системам очистки отработавших газов (ООГ), которое было принято Революцией МЕРС.184(59). Система ООГ укомплектована приборами постоянного мониторинга. В качестве критерия при проведении мониторинга принято отношение – β=SO<sub>2</sub> (млн.<sup>-1</sup>)/CO<sub>2</sub> (% объёмн.), которое принимается в зависимости от концентрации серосоединений в судовом топливе (СТ) согласно правил 14.1, 14.4 Приложений VI к Конвенции МАРПОЛ – 73/78 (табл. 1). [1].

Таблица 1

**Изменение критерия токсичности ОГ СЭУ от концентрации сернистых соединений в СТ**

№	Концентрация сернистых соединений в СТ, % масс	Отношение SO <sub>2</sub> (млн. <sup>-1</sup> )/CO <sub>2</sub> (%объёмн.) в выбросах ОГ СЭУ, β
1	4,5	195
2	3,5	151,7
3	1,5	65
4	1,0	43,3
5	0,5	21,7
6	0,1	4,3

В Киотском протоколе (1997г.) по проблеме «парникового» эффекта на Планете судоходство и авиация не были включены в окончательную редакцию Соглашения.

Международная Морская Организация, Международная организация гражданской авиации приложили достаточно усилий, чтобы эта ошибка в дальнейшем не повторилась. Обе эти международные организации проводят линию на изменение экологического законодательства в части ужесточения требований к эмитантам техногенных систем, включая судоходство и авиацию, по основным компонентам «парниковых» газов. Необходимо отметить, что некоторые судоходные и авиационные Компании вполне удовлетворены тем, что Соглашение «обошло их стороной», поскольку они опасаются дополнительных материальных и финансовых расходов на внедрение мероприятий с целью обеспечения экологической безопасности, связанной с риском интенсификации «парникового» эффекта.

«Судоходству необходимо какое-то прогрессивное экологическое законодательство, – считает

Дж. Карнерап Бэнг, старший эксперт по климату в датской компании Maersk Group.– Оно должно быть всеобщим, независящим от флага и контролируемым Международной морской организацией. Концепция СОР 21 должна была стать отправной точкой для его выработки. В предварительном варианте Парижского соглашения СОР 21, над которым работали 200 стран-участниц, вначале были упомянуты судоходство и авиация, но впоследствии этот раздел Соглашения был упразднен. Необходимо отметить, что этот раздел не содержал конкретных предписаний, всего лишь призыв – обратить внимание на выбросы с морских и авиационных судов, но даже в таком виде мог оказать влияние на обе отрасли»[8].

Действительно, это справедливое мнение специалиста, отвечающее концепции экологической безопасности в целом, поскольку судоходство и авиация занимают места в первой десятке по вкладу в «парниковый» эффект и интегральное загрязнение Планеты, как результат функционирования техногенных систем.

С 1990 по 2010 гг. масса эмиссии вредных токсичных компонентов и соединений в авиации возросла на 80%, а в судоходстве – на 40%.

Однако, бурное развитие этих отраслей технологической системы может увеличить этот вклад в «парниковый» эффект до 40% уже к 2050 году.

Поэтому очевидна несостоятельность игнорирования (неучета) авиации и судоходства в изменении климата на Земле.

Помимо материальных отходов авиация и судоходство выделяют значительный уровень энергетических отходов – тепловые, шум, вибрация, электромагнитные поля, ультразвуковое, инфразвуковое излучения, радиочастоты всех уровней и спектров, спутниковые навигационные системы, радары, радиоактивное загрязнение.

«Парижское соглашение еще будет уточняться и дорабатываться,--считает П. Хинчлифф, Генеральный секретарь Международной палаты судоходства (ICS). – Я совершенно уверен, что на каком-то этапе мы донесем свое мнение до стран-учредителей и впишем нужный нам параграф в документ»[8].

В соответствии с проведенным анализом морских грузоперевозок и расчетами современный морской транспорт расходует около 1 млрд. т в год углеводородного судового топлива, что соответствует эмиссии порядка 3,2 млрд. т в год диоксида углерода.

Необходимо отметить, что в 2016 году суммарный выброс диоксида углерода – результат действия техногенных систем – составил 40 млрд. тонн. В тоже время только от судоходства, включая порты и портовые сооружения, выброс диоксида углерода составил около 4,5 млрд тонн в год.

Таким образом, вклад в целом отрасли технологической системы судоходства – в общий «парниковый» эффект (по диоксиду углерода) составил 11.3 %. Можно допустить, что в авиации примерно такая же величина по вкладу в «парниковый» эффект. В итоге на долю судоходства и авиации в общий «парниковый» эффект приходится более 22 %, а с этим необходимо считаться при прогнозировании развития интенсивности «парникового» эффекта на Планете.

В связи с вышеизложенным, а именно, с отсутствием в окончательном Климатическом Протоколе СОР—21 судоходства и авиации, можно объяснить значительно «мягкие» требования к ОГ СЭУ по сравнению с требованиями к уровню токсичности ОГ ДТС.

Исключить эмиссию компонентов «парниковых» газов – диоксида углерода, углеводородов, минеральной пыли при использовании углеводородного сырья невозможно [8]. Для снижения/исключения эмиссии компонентов «парниковых» газов необходим плавный, поэтапный перевод технологических систем на неуглеводородное сырье [12-16].

#### **Нерешенные проблемы защиты воздушного бассейна.**

1. Перманентное загрязнение воздушного бассейна над территориями стран ЕС и во всем мире.

2. Интенсификация Планетарного развития «парникового» эффекта.

3. Различия в законодательных актах нормирования качества и уровня токсичности отработанных газов ДТС, СЭУ.

**Цель работы.** • Провести анализ и обобщение требований EURO- V к уровню токсичности ОГ ДТС в сравнении с уровнем токсичности ОГ СЭУ.

• Провести исследования по снижению уровня токсичности отработанных газов СЭУ в Зонах особого контроля SECA, NECA, ECA и во всем мире.

• Разработать практические рекомендации по имплементации инновационных технических решений в практику международного морского судоходства.

**Изложение основного материала.** В Европейском Союзе действуют нормативы по ограничению токсичности отработанных газов автомобильного транспорта - EURO – V, VI а для судовых двигателей токсичность отработанных газов регламентируется требованиями международного кодекса МАРПОЛ – 73/78 и международного кодекса по выбросам оксидов азота. Представляет интерес сравнить эти требования, приведенные в таблице 2

Таблица 2

**Эмиссия вредных токсичных компонентов с отработанными газами СЭУ в сравнении с нормативами EURO-III.V при эксплуатации автомобилей на дизельном топливе**

Токсичные компоненты	Концентрация, C <sub>i</sub> , мг/м <sup>3</sup>				Индекс опасности по отношению к EURO-III и EURO-V				Индекс превышения по отношению к ПДК***	
	ОГ ДТС		ОГ СЭУ		$\alpha_i = \frac{C_i^{IACVO}}{C_i^{EVRO-III}}$		$\beta_i = \frac{C_i^{IACVO}}{C_i^{EVRO-V}} +$		γ****	μ*****
	Директивы		Тяжелое ДТ IFO - 380 (3,5% S)	Легкое ДТ LSMGO (0,1% S)						
	EURO - III*	EURO-V**			IFO - 380 (3,5% S)	LSMGO (0,1% S)	IFO - 380 (3,5% S)	LSMGO (0,1% S)		
Сажа	0,025	0,0025	99	75	3960	3000	39600	30000	1980	1500
SO <sub>2</sub>	0,125	0,07	350	10	2800	80	5000	142,857	8750	250
NO <sub>2</sub>	0,2	0,07	2385	1850	11925	9250	34071,4	26428,6	59625	46250
CO	10	7,8	1500	1500	150	150	192,308	192,308	500	500

Примечания:

\*Требование EURO III к дизельным автомобильным двигателям

\*\* Требования EURO V к дизельным автомобильным двигателям

\*\*\* Предельно – допустимая концентрация (ПДК), мг/м<sup>3</sup>:

Сажа – 0,05,

SO<sub>2</sub> – 0.05,

NO<sub>2</sub> – 0.04,

CO – 3.

\*\*\*\*γ = C<sub>i</sub><sup>IFO</sup>/ПДК<sub>i</sub>

\*\*\*\*\*μ = C<sub>i</sub><sup>LS</sup>/ПДК<sub>i</sub>

Из анализа таблицы 2 следует, что выбросы токсичных компонентов после СЭУ в значительной мере превышают выбросы, установленные для дизельных автомобильных двигателей (согласно директив ЕС EURO–III, V), так для SO<sub>2</sub> выброс увеличивается в 5000 раз; для NO<sub>2</sub> – в 34071 раз; для CO – в 192 раз; для сажи – в 39600 раз для судового топлива марки IFO. Следует отметить, что нормативы EURO V значительно «жестче», чем EURO III, а именно:

1. действующие ныне EURO V предполагают уровень токсичности ниже в сравнении с EURO III к выбросам ОГ ДТС – по саже ниже в 10 раз, по SO<sub>2</sub> в 1,8 раза по NO<sub>x</sub> – в 3раза и по монооксиду углерода в 1,4 раза;

2. уровень токсичности ОГ СЭУ при эксплуатации на низкосернистом топливе превышают нормативы действующих EURO V к ОГ ДТС:

\*по саже в 30000 раз;

\*По SO<sub>2</sub> – в 143 раза;

\* по NO<sub>x</sub> – в 26430 раз;

\*по CO – в 192 раза.

Отсюда возникает естественный вопрос, почему требования к уровню токсичности ОГ ДТС намного жестче, чем к уровню токсичности ОГ СЭУ, тем более это непонятно, поскольку экология – трансгранична и для стран ЕС в данном случае требования директив к уровню токсичности к ОГ ДТС и ОГ СЭУ должны быть либо одинаковыми,

либо сравнимы в пределах 10-20% разброса показателей.. точности расчетов.

Одной из причин этой неопределенности (?) можно предположить то, что судоходство не включено в окончательный меморандум Международного Климатического Саммита, COP-21(Париж, Франция, 2015 год).[8,9].

В результате анализа данных, приведенных в таблице 2, можно сделать следующие заключения:

1. Требования, предъявляемые к токсичности отработанных газов СЭУ в значительной мере превышают предельные значения выбросов после, автомобилей двигателей транспортных средств согласно EURO – V при работе на дизельном топливе, хотя по условиям защиты воздушного бассейна и трансграничности экологии требования к выбросам, как автомобильного транспорта, как и морского должны быть практически одинаковыми.

2. Выбросы вредных токсических компонентов после СЭУ превышают предельно- допустимые концентрации: в 500-60000 раз при использовании судового топлива марки IFO-высокосернистое и в 250-46000при использовании судового топлива марки LS-низкосернистое.

Для решения возникших в результате обсуждения вопросов были проведены научно-исследовательские работы в части разработки и исследования катализаторов нейтрализации токсичных веществ и соединений , содержащихся в отработанных газах

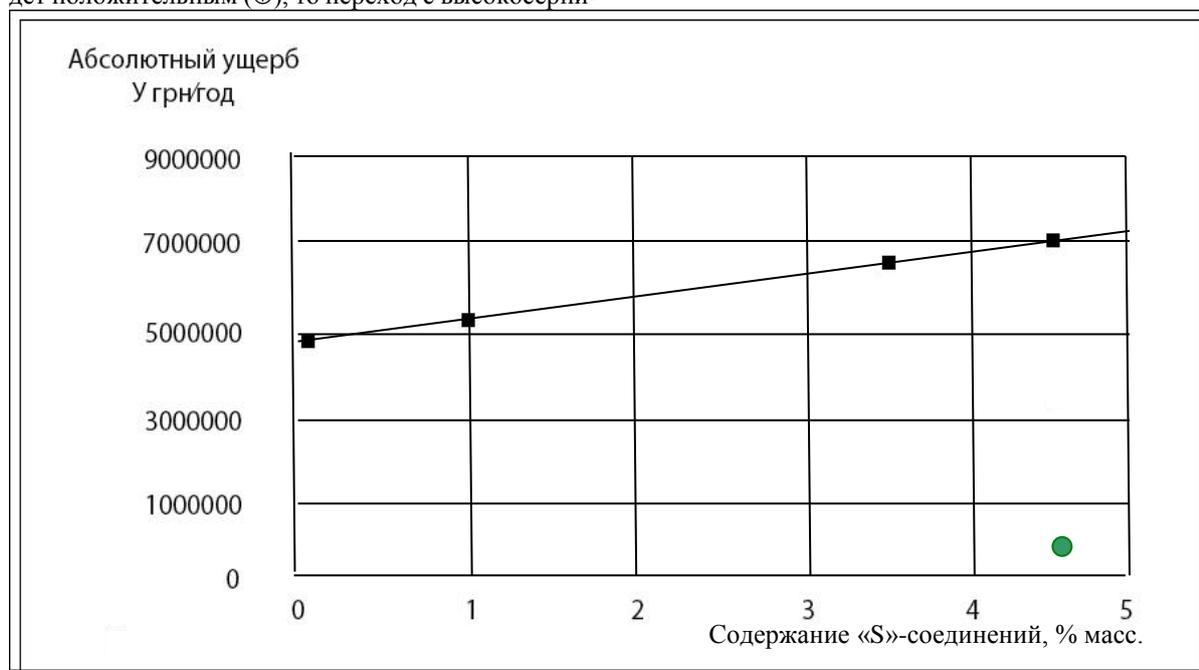
СЭУ[7--9], расчеты абсолютных ущербов ,наносимых воздушному бассейну при использовании различных видов судовых топлив [8,9,11].

Для объективной оценки сравнивались значения величин предотвращенного ущерба воздушному бассейну, определяемого, как разница абсолютных ущербов при замене высокосернистого судового топлива на низкосернистое судовое топливо, с разницей затрат на дорогостоящее низкосернистое топливо и дешевое высокосернистое судовое топливо. Если значение этой разницы будет положительным ( $\oplus$ ), то переход с высокосерни-

стого топлива на низкосернистое топливо оправдан, если значение этой разницы будет отрицательным ( $\ominus$ ), то перебункеровка с высокосернистого на низкосернистое нецелесообразна.

Расчеты абсолютных ущербов воздушному бассейну проводились согласно методики, изложенной в работе [3-5,8,11].

Ниже рассмотрены вопросы экономической и экологической целесообразности перебункеровки судов в зонах особого контроля с высокосернистого на низкосернистое судовое топливо (рис. 3, табл. 3)



МК, % масс.	0,1	1	3,5	4,5
У, грн./год	5065648,896	5433367,296	6455011,584	6863485,44
У <sub>4,5k</sub>				● 343174

Примечание: 1. МК-содержание сернистых соединений в судовом топливе в пересчете на метилмеркаптан.  
2. У<sub>4,5k</sub>—**абсолютный ущерб** воздушному бассейну при использовании высокосернистого топлива (4,5 % масс.) в комплексе с каталитической нейтрализацией отработанных газов СЭУ.

Рисунок 3 – Зависимость абсолютного ущерба (грн. / год) от содержания серосоединений (в пересчете на метилмеркаптан) в дизельном топливе, % масс.

Таблица 3

**Целесообразность перебункеровки судов в зонах особого контроля с высокосернистого на низкосернистое судовое топливо [8].**

ПАРАМЕТРЫ	РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ
1. Дата	1. 13.03.2017
2. Регион	2. Порт (port «New York»)
3. Цена на топливо: ДТ <sub>3,5%</sub> и ДТ <sub>0,1%</sub>	3. ДТ <sub>3,5%</sub> = 281,5\$/мт.т ДТ <sub>0,1%</sub> = 474,5\$/ мт.т
4. Температура воздуха в 13 <sup>00</sup> наиболее жаркого месяца выбранного порта	4. 32 <sup>0</sup> С
5. Значения абсолютных ущербов (У <sub>i</sub> ) определяем по формуле: $Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot \Sigma M$	5. $Y_{3,5\%} = 48 \cdot 4 \cdot 0,35 \cdot 264155,98 = 6455011,584$ грн./год $Y_{0,1\%} = 48 \cdot 4 \cdot 0,35 \cdot 207299,62 = 5065648,896$ грн./год
6. Предотвращенный ущерб $\Pi^{0,1\%/3,5\%}$ при замене высокосернистого топлива на низкосернистое $\Pi = Y_{3,5\%} - Y_{0,1\%}$	6. $\Pi = 6455011,584 - 5065648,896 = 1389362,688$ грн./год
7. Разница в стоимости топлив	7. $\Pi_{дт} = 474,5 - 281,5 = 193$ \$/mt

$\Pi_{дт} = \Pi_{0,1\%} - \Pi_{3,5\%}$ 8. Материальные затраты на расход судового топлива: $M_3 = Q * (\Pi_{0,1\%} - \Pi_{3,5\%})$ 9. Рассчитываем $\eta$ , если $M_3 > \Pi$ , то $\eta = M_3 / \Pi$ , <b>а если</b> $M_3 < \Pi$ , то $\eta = \Pi / M_3$	$1\$ = 27,1637 \text{ грн}/\$ \text{ по курсу НБУ}$ $\Pi_{дт} = 193 * 27,1637 = 5242,5 \text{ грн./ mt}$ 8. $M_3 = 20000 * 5242,5 = 104851882 \text{ грн/год}$ 9. $\eta = M_3 / \Pi = 104851882 \text{ грн/год} / 1389362,688 \text{ грн./год} = 75,5 \text{ раз}$
---	---

В результате анализа данных, приведенных в таблице 3 следует, что материальные затраты на низкосернистое топливо превышают предотвращенный ущерб воздушному бассейну за счет перехода с высокосернистого на низкосернистое топливо в 75 раз.

Таким образом, переход с высокосернистого на низкосернистое судовое топливо в зонах особого контроля не имеет экономического обоснования. Тем более, что согласно последним резолюциям ММО с 01.01.2020 года весь мировой морской транспорт независимо от особых зон должен перейти на низкосернистое топливо ( $S \leq 0,5\%$  масс.).

Следует отметить, что применение на борту судна каталитического катализатора (рис.3) позволит снизить абсолютный ущерб воздушному бассейну даже при использовании высокосернистого топлива ( $4,5\%S$ ) в комплексе с каталитической очисткой по сравнению с низкосернистым топливом ( $S \leq 0,1\%$  масс.) в 15 раз.

Следует подчеркнуть, что полный перевод морского транспорта с **01.01.2020 г. на низкосернистое судовое топливо ( $S \leq 0,5\%$  масс.). технически и экономически практически невозможен.** Это обусловлено дополнительными технологическими стадиями при переработке нефти – каталитическим гидрообессериванием дизельной фракции нефти. Каталитическая стадия потребует использования дефицитных и дорогостоящих катализаторов, производства водорода/водородсодержащего газа для гидрирования сернистых соединений, содержащихся в дизельной фракции нефти. При этом полезный выход низкосернистого дизельного топлива снизится на 15-20%. В результате каталитического обессеривания сернистые соединения превращаются в сероводород. Возникает новая проблема, что делать с полученным сероводородом – выбрасывать в атмосферу нельзя, сжигать нет практического смысла, поскольку, в результате сжигания сероводорода образуется сернистый ангидрид, а что с ним делать (???), остается поиск новых путей нейтрализации полученного в результате обессеривания – **сероводорода.** Действительно, как следует из таблицы 3, стоимость низкосернистого топлива ( $0,1\%$  масс. S) выше стоимости высокосернистого судового топлива ( $3,5\%$  масс. S) в 1,7 раза, что подтверждает технические сложности и экономические издержки глубокого обессеривания фракции дизельного топлива.

Согласно теоретически обоснованных данных и проведенных экспериментов, можно констатировать, что с позиции экономики рейса и ущерба воздушному бассейну переход с высокосернистого на

низкосернистое топливо нецелесообразен.

Таким образом, при замене высокосернистого судового топлива ( $\leq 3,5\%$  масс.) на низкосернистое ( $\leq 0,1\%$  масс.) абсолютный ущерб снижается в 1,3 раза, а предотвращенный ущерб воздушному бассейну составит 1389362,688 грн./год.

**Представляет практический интерес сравнить достигнутый предотвращенный ущерб воздушному бассейну с материальными затратами на судовое топливо, содержащими, соответственно, 0,1 и 3,5% масс. Как следует из таблицы 3 материальные затраты на судовое топливо ( $M_3$ ) превышают предотвращенный ущерб воздушному бассейну в 75 раз.**

Отсюда следует практический результат проведенного исследования:

1. Использовать в зонах особого контроля – SECA, ECA высокосернистое, дешевое судовое дизельное топливо.

2. Укомплектовать в машинном отделении каталитический блок для нейтрализации и очистки отработанных газов СЭУ от сернистых соединений.

#### Выводы и предложения

1. Проведен анализ требований EURO – III, V к токсичности автомобильных дизельных двигателей в сравнении с токсичностью отработанных газов СЭУ.

2. Определено, что существующие нормативы выбросов, предъявляемые к СЭУ в значительной мере превышают нормативы выбросов к автомобильным дизельным двигателям.

3. На основании обобщения выполненных научно-исследовательских работ установлено, что целесообразно в мировой практике судоходства использовать в зонах особого контроля и во всем мире дешевое высокосернистое топливо в комплексе с очисткой отработанных газов СЭУ от сернистых соединений.

#### Список литературы

1. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. – London: CPI Group 2011. – 447 p. – ISBN 978-92-801-1532-1.

2. Ст. преподаватель, кдп Жмур В.Н.; д.т.н., профессор Леонов В.Е. Снижение расхода топлива и интенсивности развития «парникового» эффекта – стратегическая задача современного судоходства.

Научный Вестник Херсонской Государственной Морской Академии – Херсон: ВЦ ХДМА. – 2018 (Adopted for publication at 2018).

3. Леонов Валерий Евгеньевич. Основы экологии и охрана окружающей среды: монография. / В.Е. Леонов, В.Ф. Ходаковский, Л.Б. Куликова; под ред. В.Е. Леонова. – Херсон: Издательство ХГМИ, 2010 – 352 с. – ISBN 978-98371-044-3.
4. Дмитриев В.И., Леонов В.Е., Химич П.Г., Ходаковский В.Ф., Куликова Л.Б. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды. Монография/ Под редакцией проф. В.И.Дмитриева, проф. В.Е. Леонова—Херсон: ХГМА, -2012,--400 с.
5. Дмитриев В.И., Леонов В.Е., Химич П.Г., Ходаковский В.Ф., Куликова Л.Б. Основы обеспечения безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды. Монография./Под редакцией к.т.н., профессора В.И. Дмитриева, д.т.н., профессора В.Е. Леонова. М.:МОРКНИГА.—2014,--407 с.
6. Леонов В.Е., Соляков О.В., Химич П.Г., Ходаковский В.Ф. Обеспечение экологической безопасности судоходства. Монография/ Под редакцией профессора Леонова. В.Е. Херсон: ХГМА.—2014,--188 с.
7. Леонов В.Е., Дмитриев В.И., Безбах О.М., Гуров А.А., Сыс В.Б., Ходаковский В.Ф. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование Монография / Под редакцией профессора Леонова В.Е.—Херсон: ХГМА, --2014,--324 с.
8. Леонов В.Е., Ходаковский А.В. Учебное пособие. Экология и охрана окружающей среды. /Под редакцией профессора Леонова В.Е.—Херсон: ХГМА, --2016,--348 с. -- ISBN 978-966—2245—34-9.
9. Леонов В.Е., Дмитриев В.И. Монография. Защита окружающей среды при эксплуатации судов. -М.: МОРКНИГА. 2017.- 252 с. ISBN 978-5-703080-16
10. Leonov V. Ye. The Ways of Increasing Environmental – Economic Efficiency of Technological Systems (Based on Marine Transport). The Scientific Heritage.:Hungary. Budapest Journal—2016, Vol. 1.№ 5(5). P. 72-77
11. Zhmur V. N., Leonov V. Ye. The squat-effect and environmental problems at reduction ship's speed in shallow water and harmful emissions. Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота имени адмирала С. О. Макарова С-Пб. – 2014,. выпуск 4 (26)– с. 176-184.
12. Leonov V. Ye. Non-Hydrocarbon Energy—a Path Sustainable Development of Society. East European Scientific Journal : Warszawa, Polska. --- --2015, Vol. 1, № 2(2), p. 107—112.
13. Леонов В. Є. «Способ захисту повітряного басейну від сірчистих сполук». Патент України на корисну модель №100295 від 27.07.2015, опубліковано 27.07.2015. Бюл. №14
14. Леонов В.Е. Ресурсосберегающая технология снижения эмиссии компонентов «парниковых» газов на морском транспорте. /В.Е. Леонов. //Сб. статей VI Межд. НП конф. «Актуальные проблемы науки XXI века». М.: USR --COGNITIO. –2016, Часть 3. с. 57-63
15. Leonov V. Ye. Development and Implementation of Resource—Saving Technologies—Basic Vector of Sustainable Development of the Society. Международный научный журнал Scientia. Международный научный журнал Scientia. Техника. М.: Научное сотрудничество «Сиентия». 2016, №2, p.35-42.
16. Leonov V. Ye. Research and Technology Development of Reception of Ozone Safety Refrigerants. Czech Rep. Praha : Sciences of Europe. 2016 . Vol. 1, № 3(3), p 67-70

**V. Andreyev**

*Dr. Ph., docent of the Department of Ways and Track Facilities,  
Dnepropetrovsk National University of Railway Transport  
named after academician V. Lazaryan*

**I. Mosicheva**

*Dr. Ph., Senior Lecturer of the Department  
of Bases and Foundations, Odessa State Academy  
of Civil Engineering and Architecture*

**V. Shapoval**

*Dr. Prof., Professor of the Department of Construction  
and Geomechanics, State Higher Educational  
Institution "National Mining University"*

**Андреев Владимир Сергеевич**

*кандидат технических наук, доцент кафедры пути  
и путевого хозяйства, Днепропетровский национальный университет  
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*

**Мосичева Ирина Ивановна**

*кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры  
оснований и фундаментов, Одесская государственная  
академия строительства и архитектуры*

**Шаповал Владимир Григорьевич**

*доктор технических наук, профессор кафедры строительства  
и геомеханики, ГБУЗ «Национальный горный университет»*

**PROBABILISTIC METHOD FOR DETERMINING THE STABILITY COEFFICIENT OF  
GROUND SLOPES AND SCARPS FOR THE CASE WHEN THE SLIDING SURFACE IS KNOWN IN  
ADVANCE**

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ  
ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ, КОГДА ПОВЕРХНОСТЬ  
СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗВЕСТНА ЗАРАНЕЕ**

**Summary:** A new approach to assessing the stability of ground slopes and scarps is proposed, which makes it possible to directly take into account the influence of the experimental spread of soil properties on the value of the coefficient of stability. An algorithm for calculating the stability of ground slopes and scarps using elements of probability theory is developed. Its essence is to determine the different values of the coefficient of stability by repeatedly solving the problem for different values of soil properties, drawing up an overdetermined system of equations and solving it using the method of least squares. As an illustration of the possibilities of the algorithm we proposed, we determined the stability coefficient of a particular slope for a number of particular values of soil characteristics that have an experimental spread. The empirical dependence for a given region of soil characteristics change is calculated and on this basis the range of values of the stability factor of the soil slope is revealed.

*Key words:* coefficient of stability, scarp (ground slope), spread of soil properties, approximation, least squares method.

**Аннотация:** Предложен новый подход к оценке устойчивости откосов и склонов, позволяющий выполнять прямой учет влияния экспериментального разброса свойств грунта на значение коэффициента устойчивости. Разработан алгоритм расчета устойчивости грунтовых откосов и склонов с использованием элементов теории вероятности. Его суть заключается в определении различных значений коэффициента устойчивости путем многократного решения задачи при различных значениях свойств грунта, составлении переопределенной системы уравнений и ее решении методом наименьших квадратов. В качестве иллюстрации возможностей предлагаемого нами алгоритма выполнено определение коэффициента устойчивости конкретного откоса для ряда частных значений характеристик грунта, имеющих экспериментальный разброс. Рассчитана эмпирическая зависимость для заданной области изменения характеристик грунта и на этой основе выявлена область значений коэффициента устойчивости грунтового откоса.

*Ключевые слова:* коэффициент устойчивости, откос (склон), разброс свойств грунта, аппроксимация, метод наименьших квадратов.

**Постановка проблемы. Анализ последних исследований.** Существующие в настоящее время методы определения коэффициента устойчивости грунтовых откосов и склонов условно можно разбить на две больших группы – методы, базирующие-

еся на использовании элементов механики сплошной среды, и методы, в которых в той или иной мере применяется принцип разбивки основания на отдельные отсеки [1, 2].

Ко второй группе также относят вариационные методы [3, 4].

Поскольку методы, использующие элементы механики сплошной среды, не позволяют выполнять расчеты при коэффициенте устойчивости  $K_s$ , меньшем единицы, они имеют ограниченную область применения (например, с использованием этих методов невозможно выполнить расчет противооползневых сооружений при  $K_s < 1$ ), в настоящей работе они не будут рассмотрены.

Также в работе не будут рассмотрены вариационные методы расчета, поскольку их использование при расчете имеющих слоистую текстуру откосов и склонов весьма затруднительно.

В настоящее время наибольшее распространение получили такие методы определения коэффициента устойчивости откосов и склонов [1, 5]:

- метод прямолинейной поверхности скольжения;
- метод круглоцилиндрической поверхности скольжения;
- метод ломаной поверхности скольжения;
- метод Маслова-Берера;
- метод Г.М. Шахунянца.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Всем этим методам расчета присущ один общий недостаток: считается, что свойства грунта в пределах каждого из инженерно-геологических элементов имеют некоторое одно (единственное) фиксированное значение.

При этом фактические свойства грунта имеют некоторый естественный разброс. Это, в свою очередь, приводит к разбросу значений коэффициента устойчивости откосов и склонов.

Проблема заключается в том, что в результате расчетов с использованием различных значений одних и тех же характеристик мы получим несколько значений коэффициента устойчивости.

По этой причине следует говорить не о некотором фиксированном значении коэффициента устойчивости для фиксированных значений характеристик грунта, а о его вероятных значениях на некотором известном интервале изменения грунтовых характеристик.

**Постановка задачи исследования.** С учетом изложенного, задача определения коэффициента устойчивости откоса (склона) может быть сформулирована следующим образом (рис. 1):

1. Известна область определения значений свойств сползающего грунтового массива.
2. Известен вид и параметры кривой скольжения сползающего грунтового массива (например, дуга окружности)  $Y(x)$ .
3. Известно очертание дневной поверхности основания  $Y_0(x)$ .
4. Известна внешняя нагрузка, приложенная к дневной поверхности  $q(x)$ .
5. Требуется определить область изменения коэффициента устойчивости как функции свойств грунта и на этой основе найти его минимальное значение.

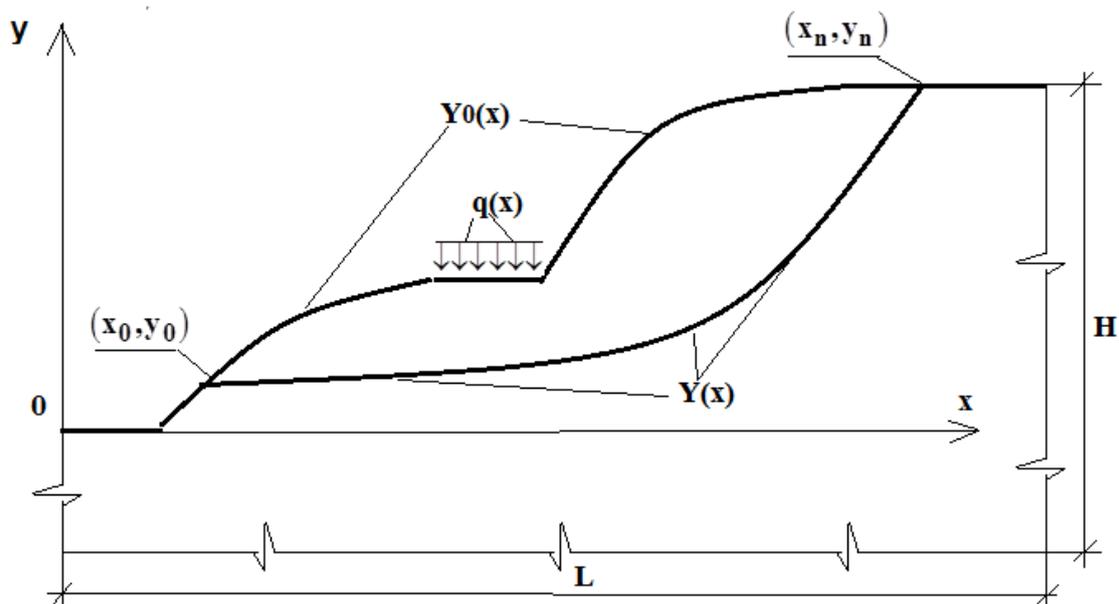


Рис. 1. К расчету устойчивости склона

С математической точки зрения задача может быть сформулирована так:

$$k_M^y = \frac{\sum_{i=1}^n M_i^{y\partial}}{\sum_{i=1}^n M_i^{c\partial}} \rightarrow \min_{Y_0(x), Y(x), q(x), \vec{\gamma}_i, \vec{c}_i, \vec{\varphi}_i} \quad (1)$$

Здесь  $\vec{\gamma}_i, \vec{c}_i$  и  $\vec{\varphi}_i$  – векторы значений удельного веса грунта, удельного сцепления и угла внутреннего трения соответственно.

**Методы решения поставленной задачи.** На наш взгляд, в первом приближении, решение задачи может быть получено путем аппроксимации с использованием метода наименьших квадратов, рассчитанных на множестве значений  $\vec{\gamma}_i = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n)$ ,  $\vec{c}_i = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$  и  $\vec{\varphi}_i = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n)$  коэффициентов устойчивости  $\vec{k}_{y,i} = (k_{y,1}, k_{y,2}, k_{y,3}, \dots, k_{y,n})$  эмпирической зависимостью вида [9]:

$$k_y = (a_1 \pm \delta_{a_1}) \cdot \bar{\gamma} + (a_2 \pm \delta_{a_2}) \cdot \bar{c} + (a_3 \pm \delta_{a_3}) \cdot \bar{\varphi}, \quad (2)$$

где  $a_1, a_2$  и  $a_3$  – установленные в ходе аппроксимации коэффициенты;  $\delta_{a_1}, \delta_{a_2}$  и  $\delta_{a_3}$  – поправки к эмпирическим коэффициентам. Здесь:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\gamma} &\in \left( \frac{\gamma_{\min}}{\gamma_{mi d}}, \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{mi d}} \right); \\ \bar{c} &\in \left( \frac{c_{\min}}{c_{mi d}}, \frac{c_{\max}}{c_{mi d}} \right); \\ \bar{\varphi} &\in \left( \frac{\varphi_{\min}}{\varphi_{mi d}}, \frac{\varphi_{\max}}{\varphi_{mi d}} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где индекс "min" соответствует минимальному значению характеристики; "mi d" – среднему и "max" – максимальному.

Далее проиллюстрируем предлагаемый алгоритм расчета на конкретном примере. Пусть требуется определить коэффициент устойчивости откоса, представленного на рис. 2 с использованием метода круглоцилиндрической поверхности скольжения [1, 2].

Допустим, что в ходе изысканий было установлено, что частные значения характеристик грунта имеют такой разброс (таблица 1):

- значения удельного веса грунта различаются на  $\pm 10\%$  ;
- значения удельного сцепления грунта различаются на  $\pm 30\%$  ;
- значения угла внутреннего трения грунта различаются на  $\pm 15\%$  ;

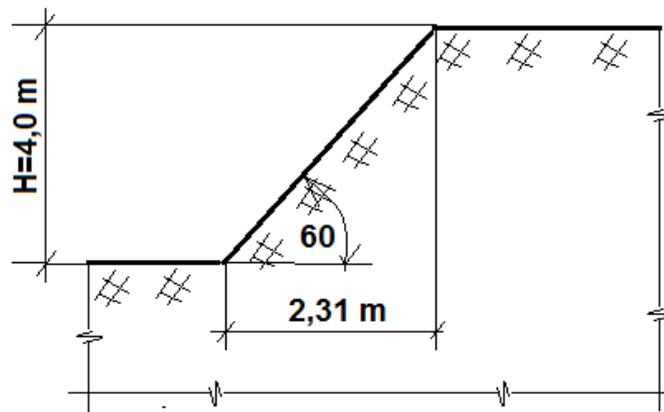


Рис. 2. К расчету устойчивости откоса

Следует отметить, что такой разброс характеристик грунта соответствует принятому в нормативных документах [10].

Для того чтобы получить эмпирическую зависимость [2], необходимо 27 раз определить коэффициент устойчивости  $k_y$ .

Фактические свойства грунтового основания

Наименование характеристики	Единица измерения	Значение характеристики		
		3	4	5
1	2	3	4	5
Удельный вес грунта $\gamma$	$тс/м^3$	1,8	2,0	2,2
Удельное сцепление $C$	$тс/м^2$	1,3	2,0	3,0
Угол внутреннего трения $\varphi$	<i>градусы</i>	17,0	20,0	23,0

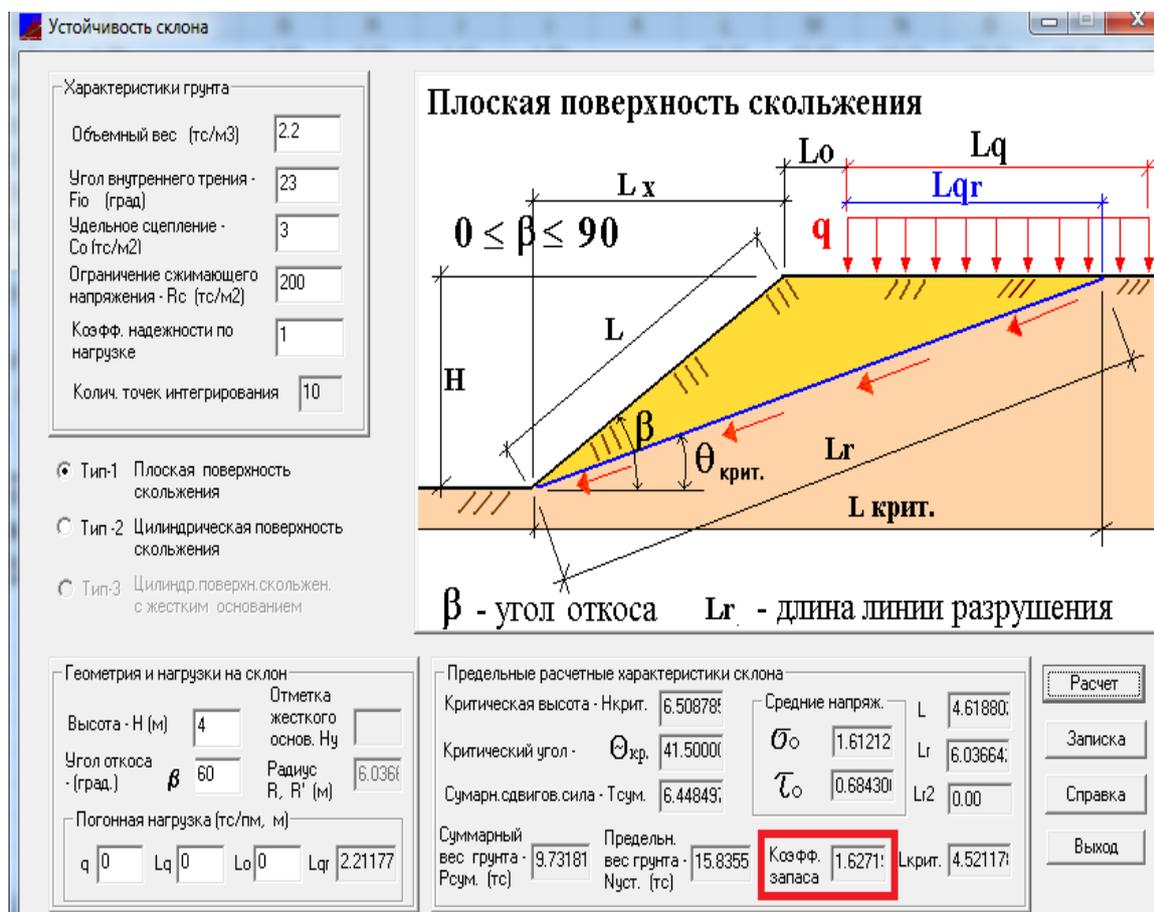


Рис. 3. К расчету устойчивости откоса с использованием программы «ЭСРИ»

Для этой цели нами была использована программа «ЭСПРИ» (рис. 3). Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2.

**Значения коэффициента устойчивости грунтового откоса для различных сочетаний его характеристик**

Номер сочетания	Наименование характеристики			
	Удельный вес грунта $\gamma, \frac{тс}{м^3}$	Удельное сцепление $c, \frac{тс}{м^2}$	Угол внутреннего трения $\varphi, \text{градусы}$	Коэффициент устойчивости $k_y, \text{д.ед.}$
1	2	3	4	5
1	1,8	1,3	17	1,26
2	2,0	1,3	17	1,13
<b>3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	<b>17</b>	<b>1,03</b>
4	1,8	2,0	17	1,26
5	2,0	2,0	17	1,14
6	2,2	2,0	17	1,03

Продолжение таблицы 2. Значения коэффициента устойчивости грунтового откоса для различных сочетаний его характеристик

Номер сочетания	Наименование характеристики			
	Удельный вес грунта $\gamma, \frac{тс}{м^3}$	Удельное сцепление $c, \frac{тс}{м^2}$	Угол внутреннего трения $\varphi, \text{градусы}$	Коэффициент устойчивости $k_y, \text{д.ед.}$
1	2	3	4	5
7	1,8	3,0	17	1,26
8	2,0	3,0	17	1,14
9	2,2	3,0	17	1,03
10	1,8	1,3	20,0	1,57
11	2,0	1,3	20,0	1,41
12	2,2	1,3	20,0	1,27
13	1,8	2,0	20,0	1,57
<b>14</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>20,0</b>	<b>1,42</b>
15	2,2	2,0	20,0	1,29
16	1,8	3,0	20,0	1,57
17	2,0	3,0	20,0	1,24
18	2,2	3,0	20,0	1,42
19	1,8	1,3	23,0	1,96
20	2,0	1,3	23,0	1,79
21	2,2	1,3	23,0	1,63
22	1,8	2,0	23,0	1,99
23	2,0	2,0	23,0	1,76
24	2,2	2,0	23,0	1,63
25	1,8	3,0	23,0	1,99
26	2,0	3,0	23,0	1,79
27	2,2	3,0	23,0	1,63

Рассчитанная с использованием представленных в таблице 2 данных эмпирическая зависимость

для нормированных с использованием формул (3) характеристик грунта имеет такой вид:

$$k_y = \left( -0,9207 \pm 0,0014 \right) \cdot \bar{\gamma} + \left( 0,0301 \pm 0,0507 \right) \cdot \bar{c} + \left( 2,3410 \pm 0,2577 \right) \cdot \bar{\varphi} \right\}, \quad (4)$$

$$\bar{\gamma} \in (0,9, \dots, 1,1); \quad \bar{c} \in (0,65, \dots, 1,5); \quad \bar{\varphi} \in (0,85, \dots, 1,15)$$

Анализ полученных в ходе расчета значений коэффициента устойчивости выполнялся для таких значений представленных в таблице 2 характеристик грунта:

1. Их средних значений (строка 14 таблицы 2).

$$k_y = -0,9207 \cdot \bar{\gamma} + 0,0301 \cdot \bar{c} + 2,3410 \cdot \bar{\varphi} \right\}. \quad (5)$$

$$\bar{\gamma} \in (0,9, \dots, 1,1); \quad \bar{c} \in (0,65, \dots, 1,5); \quad \bar{\varphi} \in (0,85, \dots, 1,15)$$

для не выгоднейшего сочетания входящих в нее характеристик грунта, обеспечивающих минимальное значение коэффициента устойчивости.

4. С использованием формулы (4) для не выгоднейшего сочетания входящих в нее параметров (т.е. поправок и характеристик грунта), обеспечивающих минимальное значение коэффициента устойчивости.

Было установлено, что:

1. Наибольшее значение коэффициента устойчивости  $k_y = 1,42$  имеет место для средних значений характеристик грунта. Такое значение коэффициента устойчивости соответствует устойчивому положению откоса.

2. Второе по величине значение коэффициента устойчивости  $k_y = 1,03$  имеет место для не выгоднейшего сочетания характеристик грунта. Такое значение коэффициента устойчивости соответствует устойчивому положению откоса.

3. Близкое к полученному в п. 2 значение коэффициента устойчивости  $k_y = 1,00$  было получено с использованием зависимости (4) без учета поправок. Такое значение коэффициента устойчивости соответствует критическому (между устойчивым и неустойчивым) положению откоса.

4. Наименьшее значение коэффициента устойчивости  $k_y = 0,73$  было получено с использованием формулы (4) для не выгоднейшего сочетания входящих в нее параметров (т.е. поправок и характеристик грунта). Такое значение коэффициента устойчивости соответствует неустойчивому положению откоса.

**Вывод.** Таким образом, учет фактического разброса значений характеристик грунта приводит к существенному снижению расчетного значения

2. Не выгоднейшего сочетания расчетных характеристик (строка 3 таблицы 2).

3. С использованием зависимости (4) без учета поправок (т.е. с использованием формулы:

коэффициента устойчивости откоса. Этот факт обязательно необходимо учитывать при проектировании.

#### Список литературы:

1. Механика грунтов, основания и фундаменты: [учебник] / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартиросян, С. Н. Чернышев. – М.: Высш. Шк., 2002. – 566 с.

2. Механика грунтов, основания и фундаменты / Е. И. Медков, В. Г. Березанцев, М. Н. Гольдштейн, А. А. Царьков. – М.: Транспорт, 1970. – 287с.

3. Дорфман А. Г. Вариационный метод исследования устойчивости откосов / А. Г. Дорфман // Вопросы геотехники. Проблемы механики земляного полотна железных дорог: труды ДИИЖТ. – М.: Издательство "Транспорт", 1965. – № 9. – С. 17–25.

4. Гольдштейн М. Н. Вариационный метод решения задач об устойчивости грунтов / М. Н. Гольдштейн // Вопросы геотехники: тр. ДИИТ. – Киев, 1969. – № 16.

5. Гинзбург Л. К. Противооползневые сооружения / Л. К. Гинзбург. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2007. – 188 с.

6. Андреев В. С. Алгоритм определения коэффициента устойчивости грунтовых откосов и склонов с использованием элементов теории оптимизации / В.С. Андреев, В. Г. Шаповал, Е. С. Причина // Российско-китайский научный журнал «Содружество» Ежемесячный научный журнал научно-практической конференции, 2017 – № 19 – С.49-54.

7. Кононюк А. Е. Основы теории оптимизации. Безусловная оптимизация / А. Е. Кононюк. – Киев: "Освіта України", 2011. – 544 с.

8. Почтман Ю. М. Методы математической оптимизации в механике грунтов / Ю. М. Почтман,

А. Л. Колесниченко // Киев-Донецк: издат. объедин. «Вища школа», главное изд-во, 1977. – 104 с.

9. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1974. – 840с.

10. 10. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти будинків і споруд. Київ, 2009, - 79 с.

*к.т.н Г.Д. Радзівілов (ВІТІ)  
О.Д. Фесенко (ВІТІ)*

## АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТОМ ПОЛЬОТОМ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

**Анотація.** Дана стаття присвячена розгляду сучасних автоматичних систем управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА). У роботі здійснено аналіз складу та призначення основного обладнання і корисного навантаження БПЛА. Зокрема, звертається увага на основні вимоги, які сьогодні ставляться до САУ БПЛА. Запропоновано автоматичну систему управління безпілотним літальним апаратом.

**Вступ.** Розвиток сучасних і перспективних технологій дозволяє сьогодні безпілотним літальним апаратам (БЛА) успішно виконувати функції, які у минулому виконувалися іншими силами та засобами. Результати аналізу антитерористичної операції (АТО) на Сході України показують високу ефективність застосування БЛА при виконанні завдань ведення спостереження, розвідки, цілевказівки, РЕБ, коригування вогню. [1].

Безпілотні засоби оснащуються ультразвуковими сенсорами, радарними датчиками, лазерними локаторами і відеокамерами. В даний час такі технології оснащення безпілотних засобів поки не широко застосовуються в Україні.

Управління польотом БПЛА здійснюється дистанційно з наземного пункту по радіоканалу або з допомогою системи автоматичного управління (САУ). При використанні САУ в пам'ять бортової системи вводиться маршрут польоту, наприклад, у вигляді координат проміжних пунктів або координат цілі. Отже, для роботи в автоматичному режимі бортові обчислювачі повинні оснащуватися відповідними алгоритмами обробки і аналізу зображень для вирішення завдань стиснення відеоінформації і пошуку об'єктів.

**Метою роботи** Дослідити систему автоматичного управління вертикальною швидкістю безпілотним літальним апаратом. Запропонувати створення нової САУ з використанням методики LSDP.

**Аналіз останніх публікацій.** Безпілотний літальний апарат (БПЛА або БЛА) - у загальному випадку це літальний апарат без екіпажу на борту. Спектр застосування БПЛА досить широкий - автоматичні літаки, вертольоти і дирижаблі здатні вести екологічну розвідку, моніторинг стану атмосфери, виконувати виміри температури, іонізуючого випромінювання, виробляти забори проб ґрунту з заражених територій і т.д.

Так, в роботі Chowdhary G. [2] розглянуто використання адаптивної нейронної мережі для управління польотами із використанням поточних даних та бази знань. Зокрема, приведені результати моделювання поведінки системи, які показують, що запропонований метод довгострокового навчання і швидка адаптація призводять до більш високої продуктивності контролера польоту БПЛА. Недоліком такої системи є необхідність значних

витрат на попереднє навчання нейронної мережі, відбір даних для навчання, наявність модуля збереження даних, який не може бути реалізований в мало бюджетній системі. Система демонструє гарні результати у випадку, коли попередньо були підібрані дані для навчання мережі, проте в умовах значної невизначеності система не гарантує витримання параметрів системи із заданою точністю.

Lewis F. L. [3] представляє різні типи систем автоматичного керування із використанням адаптивного модуля системи. Аналіз завдань, які виникають із використанням нейронних регуляторів вимагає розв'язання задач ініціалізації вагових коефіцієнтів мережі. Також окреслені проблеми, які виникають при навчанні нейронних мереж. Особливістю приведених систем є їх робастність, проте, жодна з наведених систем автоматичного управління не здатна із заданою точністю витримувати обрані значення параметрів за умов невідомих збурень.

Автоматична система управління польотом використовує прямий адаптивний та динамічний інверсійний підхід управління. Результати льотних випробувань відзначають потреби в подальших дослідженнях з метою поглиблення розуміння ефективності та обмежень прямого адаптивного управління польотом. Також запропонована гібридна адаптивна архітектура управління. Гібридне адаптивне управління поєднує як прямі, так і непрямі методи адаптивного управління для забезпечення більш ефективної стратегії управління. Непряме адаптивне управління відповідає за оновлення динамічного контролера інверсії з більш точної моделі, який оцінюється за методом найменших квадратів. Будь-які залишкові помилки потім будуть оброблені нейронною мережею прямого адаптивного управління. Перевагою гібридного методу адаптивного управління є можливість оцінити параметри моделі в режимі "он-лайн" та найкращим чином адаптувати нові параметри системи до зовнішніх збурень. В той же час, задача гарантованого витримання заданих параметрів системи при невідомих збуреннях не розглянута.

### Виклад основного матеріалу.

В даний час управління БЛА в основному ведеться оператором за допомогою передачі йому виводової інформації, прийнятої на борту. Рішення про

виявлення шуканого об'єкта і наступні дії приймає оператор. До недоліків технології безпосередньої участі оператора в процесі ДУ БЛА в реальному часі слід віднести: складні умови роботи, що призводять до підвищення виявлення помилок, прийняття рішень про подальші дії; неможливість ефективного управління більше одного БЛА через великі обсяги циркулюючої інформації, зниження продуктивності пошуку, виявлення, рішення поставленої задачі при оперативній зміні умов спостереження, необхідності відповідної кваліфікації і досвіду для оперативного прийняття рішень [4].

Одним з напрямків, що дозволяють істотно підвищити ефективність вирішення завдань розвідки, цілевказівки, коригування артилерійського вогню, оцінки результатів ударів є використання системи підтримки прийняття рішень (СППР) при ДУ БЛА на НПУ. В основі функціонування СППР при ДУ БЛА лежить процедура зіставлення поточного та еталонного зображення з подальшим формуванням рекомендацій оператору з управління БЛА з використанням:

– наявної апріорної інформації про можливі об'єкти (явища, процеси) інтересу, включає тип, кількість, їх атрибути, взаємне розташування, геометричні і яскравості характеристики, параметри двовимірних полів (наприклад — поля рельєфу, оптичного контрасту тощо), що дозволяє побудувати її еталонне зображення;

– апостеріорної інформації про спостережувану в процесі польоту сцени (умови її спостереження, характеристики сенсорних датчиків та їх помилки, тощо), що представляє собою поточне зображення в певному спектральному діапазоні.

Основними вимогами, які висуваються сьогодні до САУ БПЛА, є [3, с. 6-11]:

- низька вартість;
- мініатюризація (мінімізація маси та габаритних характеристик);
- зниження енергоспоживання;
- забезпечення автоматизованого виконання польоту БПЛА, стабілізації кутів орієнтації та

слідкування заданій траєкторії у всіх режимах управління на всіх етапах польоту, зокрема при злеті, наборі висоти, зниженні та приземленні;

- забезпечення можливості операторам дистанційно переходити від ручного до автоматичного режиму управління БПЛА (корисним навантаженням) та навпаки;

• програма автоматизованого управління БПЛА протягом його польоту може змінюватися персоналом наземного пункту управління;

- використання недорогих, комерційно доступних технічних засобів та обладнання, а також власного (українського) інноваційного програмного забезпечення;

• збільшення обсягу пам'яті центральної обчислювальної системи, необхідного для накопичення виміральної інформації;

- варіанти компоновки модулів корисного навантаження повинні гарантувати виконання завдань за призначенням у складних умовах експлуатації, зокрема при різких змінах температурних режимів; підвищення завадостійкості тощо.

В роботі розглядається створення САУ з використанням методики LSDP (loop-shaping design procedure): така система має дві ступені свободи, що додало можливість вказати динамічну еталонну модель для формування тимчасового відгуку регульованих виходів. Незважаючи на значний прогрес, досягнутий в системах адаптивного управління, існуюча технологія управління польотом не є адекватною для роботи із значними невизначеностями і невідомими відмовами компонентів і аномаліями.

Розглядається структурна схема контролера САУ. Цей контролер є робастним, проте не виконується задача гарантованого витримування заданих параметрів системи при невідомих збуреннях.

В системі є два контури, які мають наступну структуру: зовнішній контур  $K_2$ , призначений для контролю стабільності, та внутрішній  $K_1$ , призначений для відстеження продуктивності. Продуктивність визначається формуванням спеціальних сингулярних чисел моделі системи  $G$  з вагами  $W_1$  і  $W_2$  (рис. 1).

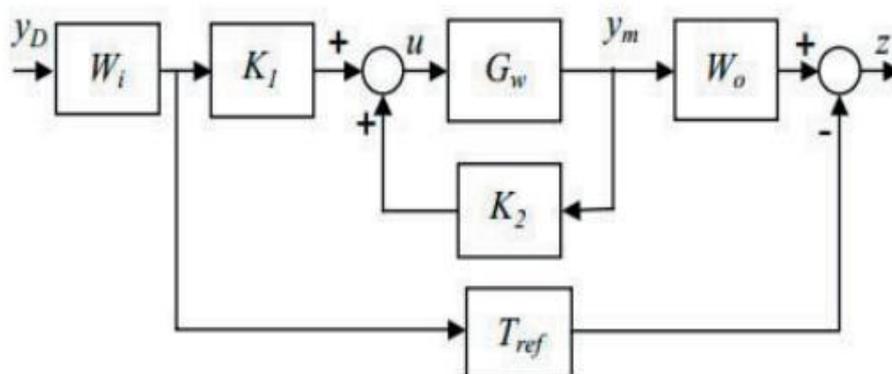


Рис. 1. Структурна схема САУ LSDP

Доведено, що не існує лівої частини площини усунення нульових значень сигналу між контролером К і моделлю G.

Це відбувається через те, що К можна записати у вигляді точного спостерігача із зворотнім зв'язком за станом. Мінімізація цільової функції забезпечує надійну стійкість, крім того таке рішення не вимагає ітерацій [4].

Незважаючи на значний прогрес, досягнутий в системах адаптивного управління, існуюча технологія управління польотом не є адекватною для роботи із значними невизначеностями і невідомими відмовами компонентів і аномаліями.

Проведений аналіз систем управління показав, що дистанційне керування (ДУ) включає гідності інших режимів і полягає в передачі по командній радіолінії завдань для виконавчих механізмів.

Система ДУ відповідає за планування польотного завдання, формування команд управління для системи автоматичного управління при зміні маршруту польоту пілотом-оператором, налаштування параметрів системи автоматичного управління, відображення телеметричної інформації, аналіз польотних даних, а також управління корисним навантаженням БЛА. З боку пілота-оператора ДУ зводиться до уточнення програми польоту на маршруті, видачі разових команд в районі рішення цільової задачі. Завдання формування команд при ДУ носить логіко-аналітичний характер, вироблення єдиних правил визначення програми, параметрів польоту в умовах невизначеності є важкою задачею [5, с. 57].

Таким чином, оперативна гнучкість, здатність в режимі реального часу передавати інформацію на вище стоячі рівні управління і своєчасно на будь-якому етапі польоту отримувати необхідні дані для її аналізу і прийняття рішення, що обумовлюють доцільність використання дистанційного режиму управління. ДУ оператором БЛА – це складна багатокритеріальна задача. Суперечливість вимог до результату прийнятих рішень, неоднозначність оцінки ситуації, помилки у виборі пріоритетів ускладнюють процес прийняття рішень при управлінні, не дозволяють ефективно обробляти інформацію і оперативно аналізувати її для прийняття обґрунтованих рішень.

Основні завдання, які вирішуються оператором при ДУ, носять логіко-аналітичний характер, вимагають обґрунтованих оперативних рішень на основі одержуваної фото і відеоінформації та складаються з:

- вироблення рішення на виконання дій по пошуку об'єктів на підставі результатів аналізу подій і рівня наявних можливостей БЛА;
- виявлення, розпізнавання і визначення координат вибраного об'єкта;
- використання принципу вибору об'єкта за ступенем його важливості і пріоритетності;
- прийому, переробки і аналізу достовірності одержуваної інформації по радіоканалу;

- забезпечення сталого управління рухом БЛА за маршрутом, на якому очікується присутність вакансій оператора об'єктів;

- використання технічних можливостей бортових пристроїв і систем БЛА;

- управління корисним навантаженням: управління лінією видимості камери; напрямками та контролю нахилу камери по осях; захоплення моментального знімка, запам'ятовування і створення мітки на тлі карти; зміна масштабу; зміна фокусування [6].

Оператор БЛА в сучасних умовах ведення бойових дій виконує навігаційні, аналітичні функції, здійснює процеси розшифровки фото і відеоінформації та безпосередньо є особою, що приймає рішення.

Необхідні злагоджені і продумані дії оператора, здійснення яких можна тільки завдяки досвіду, знанням з управління БЛА і дешифрування фото і відео інформації. Основні функції спрямовані на забезпечення виконання типових операцій оператором, а рішення логіко-аналітичних задач, пов'язаних з вибором об'єкта за ступенем її важливості, переробкою одержуваної по радіоканалу інформації, виробленням рішення на виконання дій по пошуку об'єктів з урахуванням рівня наявних можливостей БЛА в умовах оперативного зміни умов спостереження не вирішені і вимагають від оператора високої кваліфікації і інтуїції, оперативності прийняття рішень з управління БЛА.

Таким чином, існує протиріччя між необхідністю своєчасного вироблення достатньо обґрунтованих рекомендацій щодо управління БЛА в умовах невизначеності, і обмеженими можливостями за існуючих наземних ПУ.

Отже необхідно розглянути існуючі САУ польоту БПЛА

На даний час існують наступні САУ польоту БПЛА;

- Система автоматичного управління вертикальною швидкістю (САУ ВШ)

- Система автоматичного управління висотою польоту (САУ ВП)

Так як система автоматичного управління висотою польоту (САУ ВП) формується на основі системи автоматичного управління вертикальною швидкістю (САУ ВШ) тому розглянемо (САУ ВШ)

САУ ВШ необхідна для забезпечення заданої вертикальної швидкості при наборі висоти польоту. Вона може бути сформована на основі астатичній САУ для нормального перевантаження та інформації про вертикальну швидкість. При цьому задане значення нормального перевантаження можна формувати у вигляді

$$\Delta n_{y3} = K_{\dot{H}}(\dot{H} - \dot{H}_3),$$

де  $\dot{H}_3$  – задане значення вертикальної швидкості,

$K_{\dot{H}}$  – коефіцієнт підсилення різниці заданого значення вертикальної швидкості і вимірної.

Значення вертикальної швидкості  $\dot{H}$  можна отримати з допомогою варіометра, інерціальної

навігаційної системи (ІНС), супутникових систем (GPS, Глонасс).

Схема моделювання системи автоматичного керування вертикальною швидкістю наведена на рис.1

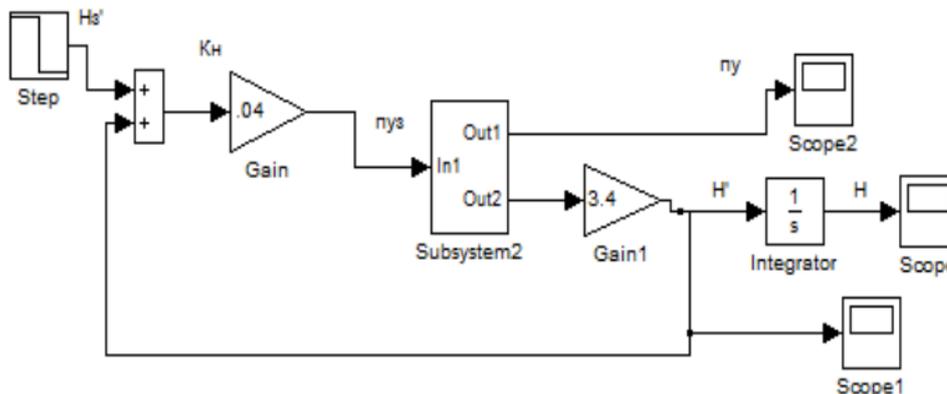


Рис. 1. Схема моделювання САУ ВШ [7]

Таким чином, сформована САУ ВШ забезпечить відсутність статичних помилок при постійних керуючих і збурюючих впливах, має задане значення перегулювання 5 % та забезпечує мінімальний час перехідного процесу, рівний 15 с.

**Висновки.** Розробка підходу щодо формування рекомендацій для своєчасного прийняття обґрунтованих рішень оператором при дистанційному управлінні БЛА є актуальною задачею.

Одним з напрямків, що дозволяють істотно підвищити ефективність вирішення завдань розвідки, цілевказання, коригування артилерійського вогню, оцінки результатів ударів є використання інтелектуальної СППР при ДУ БЛА на НПУ, що передбачає вирішення приватних завдань.

Використання інтелектуальної СППР при управлінні БЛА на НПУ дозволяє своєчасно приймати обґрунтовані рішення оператором в умовах невизначеності, суперечливості вхідної інформації про об'єкти, обмежені можливості БЛА, складній заводській ситуації, маневреній, вогневої, інформаційної протидії з сторони наземної цілі, значної кількості параметрів, значення багатьох з яких явно невизначені. Знання експертів дозволять сформулювати єдині правила по управлінню БЛА при вирішенні різних цільових завдань в умовах невизначеності.

#### Література:

1. Eyes of the Army. The Army Roadmap for UAS 2010- 2035. 140 p. <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas>.
2. Girish C. Adaptive Neural Network Flight Control Using both Current and Recorded Data [Electronic resource]/ C. Girish // Available at: [https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/35867/chowdhary\\_gnc\\_2007\\_51.pdf?sequence=](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/35867/chowdhary_gnc_2007_51.pdf?sequence=)
3. Lewis F. L. Neural Networks in Feedback Control Systems [Electronic resource]/ F. L. Lewis // Available at: <http://www.pdx.edu/>

[www.pdx.edu/sysc/files/SySc576\\_Frank-LewisNNsControl.pdf](http://www.pdx.edu/sysc/files/SySc576_Frank-LewisNNsControl.pdf).

4. HaiYang Chao, YongCan Cao, and YangQuan Chen. Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://mechatronics.-ece.usu.edu/yqchen/>.

5. Salah I. AlSwailem. Application of Robust Control in Unmanned Vehicle Flight Control System Design [Electronic resource]/ I. AlSwailem Salah // Available at: <https://dSPACE.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/136/2/ThesisMasterV2.pdf>.

6. David H. Shim, H. Jin Kim, and Shankar Sastry. A Flight Control System for Aerial Robots: algorithms and experiments. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/>.

7. Артюшин Л.М., Мосов С.П. Застосування сил і засобів повітряної розвідки наземного противника у сучасних операціях і воєнних конфліктах // ТА. – 2000. – № 24. – С. 76-80.

8. Мосов С.П. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография. – К.: Изд. дом. “Румб”, 2008. – 160 с.

9. Управление и наведение беспилотных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под редакцией М.Н. Крайильщикова и Г.Г. Серебрякова. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 280 с.

10. Харченко О.В., Кулешин В.В., Коцуренко Ю.В. Класифікація та тенденції створення безпілотних літальних апаратів військового призначення // Наука і оборона, 2005. – №1. – С. 57-60.

11. U.S. Army Field Manual Interim (FMI) 3-04.155– Department of the Army. – Washington, DC, April, 183 p. <https://www.fas.org/irp/doddir/army/fmi3-04-155.pdf>.

12. M.L. Cummings, I S. Bruni, S. Mercier, and P.J. Mitchell. Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.dodccrp.org/files/>.

*Дергунов Сергей Александрович,*  
*кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и строительных материалов,*  
*Оренбургский государственный университет*  
**Dergunov Sergey Aleksandrovich,**  
*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways and Building Materials,*  
*Orenburg State University*  
**Спирина Алена Юрьевна,**  
*ассистент кафедры автомобильных дорог и строительных материалов, Оренбургский государственный университет*  
**Spirina Alena Yuryevna,**  
*Assistant of the Department of Highways and Building Materials, Orenburg State University*  
**Юкова Карина Валерьевна,**  
*бакалавр, Оренбургский государственный университет*  
**Yukova Karina Valerievna,**  
*bachelor, Orenburg State University*

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ENERGY SAVING TECHNOLOGIES IN THE ROAD CONSTRUCTION

### Аннотация

В статье рассмотрено внедрение энергосберегающих технологий в дорожном строительстве. Представлены новейшие разработки дорожных покрытий на основе солнечной энергии и изложены примеры их эффективного применения. Предложенные инновации приводят к повышению уровня экологического состояния дорог, что имеет первостепенное значение для современных динамически развивающихся городов.

### Abstract

The article considers the introduction of energy-saving technologies in the road construction. The latest developments of road coatings based on solar energy and the examples of their effective application are presented. The proposed innovations lead to increasing of the level of environmental state roads. These facts have the paramount importance for modern dynamically developing cities.

*Ключевые слова:* энергоэффективные технологии, автомобильные дороги, солнечные панели, дорожное покрытие, экологичность.

*Keywords:* energy efficient technologies, highways, solar panels, road coating, ecology safety.

Применение энергоэффективных технологий является одним из условий для построения современной развитой экономики. Это актуально и для транспортной отрасли России, поэтому в последнее время при проектировании и строительстве любого масштабного объекта транспортной инфраструктуры специалисты вынуждены все больше учитывать экологическую составляющую [1].

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог являются одними из наиболее значимых источников потенциальных экологических рисков, негативно сказывающихся на условиях обитания человека. Автодорога как инженерное сооружение существенно изменяет природные ландшафты, режим стока поверхностных и грунтовых вод, места обитания флоры и фауны, приводит к изменению микроклимата отдельных территорий, появлению оползней, эрозии земель, изменению береговых линий водных объектов, а также является источником шума, вибрации, электромагнитного и ионизирующего воздействия на компоненты окружающей среды, население и животный мир. Транспортный комплекс является крупнейшим источником загрязнения токсичными веществами воды, почвы и воздуха [4].

Среди мероприятий экологического плана – разработка и внедрение новых материалов, технологий, которые позволят снизить пылеобразование

и остановить водную эрозию, применение конструктивно-технологических решений, предотвращающих нарушение природных ландшафтов, строительство сооружений по очистке сточных вод, переработке и обезвреживанию отходов производства, устройство шумозащитных экранов, внедрение новых способов содержания автодорог.

Реализация перечисленных мер должна сопровождаться повышением экологических требований к проектированию, строительству и ремонту автодорог и совершенствованием нормативно-правовой базы по охране окружающей среды и экологической безопасности [2].

Поиск рационального использования огромных площадей автомобильных дорог стал актуальной задачей для многих энергосберегающих компаний. Поскольку энергия Солнца стремительно дешевеет, солнечные панели все чаще интегрируют в повседневные материалы. Наиболее перспективным видится размещение на дорожном полотне солнечных панелей.

К сожалению, основной проблемой является хрупкость самих солнечных модулей, поэтому научно-технические разработки компаний предлагают разные решения.

Одни из таких решений стала разработка электропроводящих элементов, встроенных в дорогу, а сама «солнечная» плитка имеет противоскользящую поверхность на основе дробленого стекла

(рис.1). Чтобы выдерживать вес трафика, используют несколько пластиковых слоев, которые обеспечивают прозрачную и, в тоже время, прочную оболочку для фотоэлементов. Сверхтонкие панели способны адаптироваться к температурной деформации дороги и, благодаря слоистой структуре, как

минимум не уступают традиционным покрытиям в части сцепных свойств. Кроме того, первые испытания такого полотна показали абсолютное безразличие к массе машин и достаточную износостойкость [3].



*Рисунок 1. Разработка дорожного покрытия с использованием встроенных электропроводящих элементов*

Делается все это ради обеспечения возобновляемыми источниками энергии около 5 млн человек. По ориентировочной статистике, “солнечные” дороги будут заняты автомобилями всего около 10% времени, причем лишь 20 квадратных метров покрытия позволяют обеспечить электроэнергией (если речь не об отоплении) один “средний” дом.

На данный момент реализация крупномасштабного проекта фотоэлектрической магистрали экономически не обоснована. Основная причина - большая стоимость и это не единственный недостаток солнечных дорог, так как солнечные батареи более эффективно вырабатывают энергию, если

находятся на изогнутых поверхностях. Однако по прогнозам с 2020 года цена их технологии станет вполне конкурентоспособной с традиционными солнечными электростанциями. Электрогенерирующие проспекты, которые смогут передавать энергию солнца в центральные электросети, могут появиться в городах уже в недалеком будущем.

Другим, не уступающий в своей оригинальности и практичности, стал проект дорожного покрытия и по совместительству децентрализованная электроэнергетическая система, способная обеспечить электричеством целую страну (рис.2) [6].



*Рисунок 2. Шестигранные панели покрытия*

Покрытие состоит из шестигранных панелей, с поверхностью из сверхпрочного стекла, под которым располагаются солнечные батареи, микропроцессор, светодиоды и нагревательные элементы (рис.3). Дорожные солнечные панели способны выдерживать нагрузку более 100 т/м<sup>2</sup>, что делает их пригодными к использованию на любых типах дорог — от велосипедных дорожек до межрегиональных трасс.

Функционал дорожного покрытия включает в себя:

- выработку электроэнергии за счет фотоэлектрических элементов, которая может подаваться в жилые дома, коммерческие здания, а также использоваться для «заправки» электромобилей;
- программируемую динамическую светодорожную разметку и предупреждающие знаки;
- предупреждение о необходимости снизить скорость в случае, если датчики нагрузки установят появление препятствия на дороге (например, пешехода или дикого животного), что поможет снизить количество несчастных случаев в темное время суток;
- самоочистение от снега и наледи с помощью нагревательных элементов.

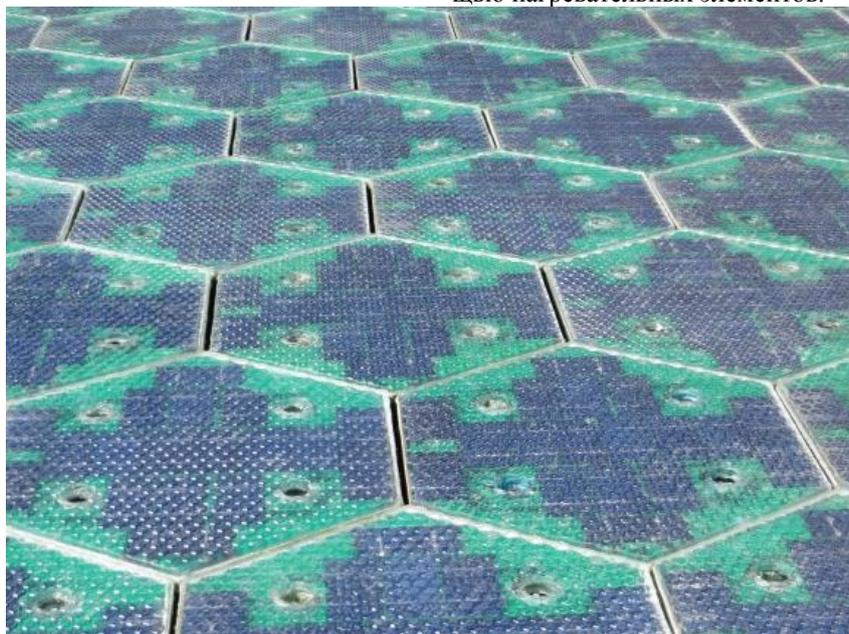


Рисунок 3. Покрытие из шестигранных панелей

Кроме того, система предусматривает создание вдоль дороги «кабельного коридора», в который можно поместить любые типы кабелей, и секции, предназначенной для сбора и очистки ливневых вод. В целом данное направление возможно в будущем поможет решить проблему использования исчерпаемых природных ресурсов, таких как нефть и газ.

Только при условии освоения имеющейся инновационной продукции в полном объеме в отрасли может быть достигнут значительный экономический эффект: за счет применения новых технологий, энерго- и ресурсосбережения, повышения долговечности дорог, сокращения себестоимости перевозок и повышения безопасности движения [7].

В связи со сказанным важным представляется перенимать и модернизировать под собственные реалии передовой зарубежной и лучший отечественный опыт строительства дорог и прилегающей инфраструктуры, а также расширять доступность нескольких видов транспорта для большинства населенных пунктов, увеличивая их транспортную мобильность [5].

#### Список литературы:

1. Развитие технологий строительства дорожных покрытий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.idt-invest.ru/techstroy.htm> (дата обращения — 17.01.2017)
2. Ушаков, В.В. Магистралям России — долговечные покрытия, Дороги Евразии №1 (январь-

февраль) 2014г. URL:[http://eurasia-roads.ru/archive/files/20140304\\_j\\_mini.pdf](http://eurasia-roads.ru/archive/files/20140304_j_mini.pdf)

3. Дороги из солнечных батарей приходят на смену асфальту [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/1744-dorogi-iz-solnechnykh-batarej-prikhodyat-na-smenu-asfaltu.html> (дата обращения — 17.01.2017)

4. Российский опыт внедрения экологических технологий в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://territoryengineering.ru/infrastruktturnaya-revolutsiya/rossijskij-opyt-vnedreniya-ekologicheskikh-tehnologij-v-dorozhnom-stroitelstve/> (дата обращения — 17.01.2017)

5. Якунина Л. В., Кожухова Е. С. Проблемы дорожного строительства и пути их решения // Молодой ученый. — 2016. — №6.3. — С. 48-51.

6. "Солнечная дорога" от компании Solar Roadways Unveils [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://remontyes.ru/5082-solnechnaya-dorogaot-kompanii-solar-roadways-unveils.html> (дата обращения — 17.01.2017)

7. Чванов В.В. «Роль современных технологий в повышении качества дорожных работ»: диссертация кандидата технических наук. Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Волгоград, 2011.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Chesnokov A.M.**

*candidate of science, senior researcher,*

*Institute of Control Science of RAS, Moscow*

**Чесноков Александр Михайлович**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,*

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва*

### RELATIONS IMPLEMENTATION IN COLUMNS-BASED INTELLIGENT SYSTEMS РЕАЛИЗАЦИЯ ОТНОШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ КОЛОНОК

**Summary:** The paper considers relations in columns-based intelligent systems and introduces basic definitions and notions. The representation of such relations is suggested and solutions to the direct and the inverse problems are discussed. We use the element-wise pattern comparison technique and the intersections technique to solve both problems.

**Keywords:** artificial intelligence, columns-based intelligent systems, column, relation.

**Аннотация:** Рассматриваются отношения в интеллектуальных системах на основе колонок. Приводятся основные понятия и определения. Предлагается представление отношений в таких системах и формулируются прямая и обратная задачи. Приводится решение прямой и обратной задачи для отношений с помощью метода поэлементного сравнения образов и метода пересечений.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, интеллектуальные системы на основе колонок, колонка, отношение.

#### **Введение. Интеллектуальные системы на основе колонок**

Интеллектуальные системы на основе колонок представляют собой системы, рассматриваемые в рамках следующей модели [4, 7].

Имеется пусть и очень большое, но *конечное* множество имен  $U$ , предназначенных для наименования объектов произвольной природы. Не ограничивая общности, считается, что множество имен  $U$  является подмножеством множества целых чисел. В множестве имен  $U$  выделяются непересекающиеся подмножества, получившие название *областей имен*. Причины, которые в реальных предметных областях приводят к выделению областей имен, могут быть совершенно различными. Например, это может быть связано с целевым назначением имен или с типизацией. Одной из важнейших причин является необходимость обеспечить отсутствие случайных совпадений имен в различных частях большой системы.

Любое конечное множество имен, принадлежащих тем или иным областям имен, называется *образом*.

Образы любого множества образов  $P$  можно перенумеровать, используя для этого имена некоторой области имен  $U'$ :

$$P = \{p_i \mid i \in U'\},$$

где  $|U'| = |P|$ ,  $|\cdot|$  – число элементов (мощность) множества.

Упорядоченная пара  $(i, p_i)$  получила название *колонки*. Колонка обозначается как  $(i \mid p_i)$ , где  $i$  – имя колонки,  $p_i$  – образ, содержащийся в колонке. Также используется обозначение  $i \rightarrow p_i$ . В этом

случае говорится, что имя колонки  $i$  является *ссылкой* или *указателем* на содержащийся в колонке образ  $p_i$ . В свою очередь, про сам образ  $p_i$  будет говориться, что это образ, известный под именем  $i$ . Отображение  $\varphi: i \rightarrow p_i$  называется *отображением наименования*.

Имя  $i$ , которое еще не использовалось для наименования образов, называется *чистым*, или *пустым* именем. Его можно представить как колонку, имеющую пустой образ, т.е. колонку вида  $(i \mid \emptyset)$  или  $i \rightarrow \emptyset$ .

В образы колонок входят имена других колонок, а также чистые имена. Таким образом, в образе одной колонки содержатся имена других колонок, каждое из которых служит указателем на соответствующий образ, возможно, пустой. В свою очередь любое имя непустого образа также указывает на свой образ и т.д. В результате образуется сложная структура колонок.

*Индексом* называется любое конечное множество колонок. Состав любого индекса может меняться за счет добавления или удаления колонок. Эти операции называются сложением и вычитанием индексов и обозначаются через  $+$  и  $-$ .

Индекс может быть представлен в виде таблицы, состоящей из вертикальных колонок (столбцов) переменной высоты. В нижней строке таблицы, под чертой, имена колонок. Над именем каждой колонки перечислены все имена, входящие в образ колонки. По умолчанию считается, что имена колонок и имена в образах принадлежат различным областям имен.

Если образы представляют собой неупорядоченные множества имен, то порядок записи имен в образах колонок может быть произвольным. Если же образы упорядочены, то запись имен в образах

колонок выполняется в определенном порядке, например, снизу вверх, т.е. первое имя образа в первой строке над чертой, второе – во второй и т.д. В качестве простейшего примера на рис. 1 показан индекс  $A$ , состоящий из трех колонок ( $1|{1, 3}$ ), ( $1|{2, 3, 4}$ ) и ( $3|{4, 5}$ ).

A
4
3 3 5
1 2 4
1 2 3

Рис. 1.

Интеллектуальная система на основе колонок представляет собой один или несколько индексов и работающий с ними механизм, который называется *машина колонок*. Получая информацию о внешнем мире в виде образов, машина колонок формирует новые колонки, изменяет уже существующие, удаляет ненужные и выполняет другие необходимые операции (рис. 2).

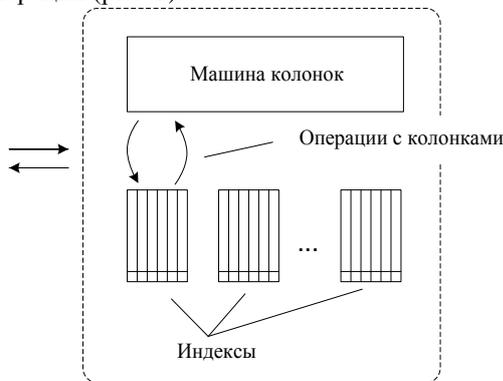


Рис. 2. Интеллектуальная система на основе колонок

Знания в рассматриваемых системах представлены с помощью колонок, а в основе процесса накопления знаний лежит запоминание новых образов под определенными именами. При этом *элементарными базовыми задачами*, без которых невозможно функционирование системы, очевидно, являются *прямая задача* – по образу получить его имя, и *обратная задача* – по имени получить соответствующий образ. Решая базовые задачи, машина колонок реализует переход по ссылкам  $p_i \rightarrow i$  в прямой задаче и  $i \rightarrow p_i$  в обратной задаче, тем самым обеспечивая основу, на которой строится решение всех остальных задач.

Так как в рассматриваемой модели всё конечно, то решение базовых задач существует всегда. При этом общим универсальным методом их решения является метод на основе поэлементного сравнения образов [4–7]. С точки зрения теории этого достаточно для того, чтобы оценивать возможности и схемы решения различных задач с помощью интеллектуальных систем на основе колонок. Однако, если говорить о практическом применении таких систем, то необходим более эффективный метод решения базовых задач, особенно задач большой размерности.

Одним из возможных методов более эффективного решения базовых задач является *метод пересечений*. Идея метода пересечений восходит к книжному индексу. В нем для каждой рубрики приведено множество указателей на те страницы книги, где эту рубрику можно обнаружить. Запросу из нескольких рубрик, очевидно, соответствует пересечение множеств указателей для этих рубрик. Подобные методы для таблиц указателей (индексов) используется в поисковых машинах интернета [8].

В начале 2000-х гг. А.М. Михайлов показал, что метод пересечений может использоваться для работы с образами [10, 11]. В рамках возникшего направления, получившего название индексного подхода, метод пересечений применяется в основном при решении задач распознавания [2, 3, 12].

На основе этих работ был предложен вариант метода пересечений, предназначенный для использования в исследованиях по интеллектуальным системам на основе колонок [4, 7]. Этот вариант метода пересечений характеризуется универсальностью, точной оценкой условий применения и полным отсутствием необходимости в поэлементном сравнении образов.

Здесь необходимо подчеркнуть, что сам по себе метод пересечений не является необходимой составной частью интеллектуальных систем на основе колонок. Это всего лишь один из многих возможных методов решения базовых задач, в первую очередь прямой задачи. Вместо него могут использоваться любые другие методы и средства, в частности, программно-аппаратные, обеспечивающие высокую эффективность решения базовых задач определенного типа.

В работах [4–7, 9] рассматривалось решение различных базовых задач для образов в виде неупорядоченных конечных множеств, для образов в виде векторов или конечных последовательностей, а также для образов в виде конечных мультимножеств. Была показана способность интеллектуальных систем на основе колонок работать в условиях помех и при неполной информации. При этом оказалось, что прогноз и логический вывод с переменными являются врожденными свойствами подобных систем. В [4, 7] была доказана возможность реализации в интеллектуальных системах на основе колонок произвольных булевых функций  $f : B^n \rightarrow B$ , где  $B = \{0, 1\}$ , однако в этих работах ничего не говорилось о реализации отношений. Данная статья посвящена исследованию возможностей реализации отношений  $r \subseteq A^n$ , где  $A^n$  – конечная декартова степень  $A^n = A \times \dots \times A$ . В следующем разделе рассматривается представление отношений в интеллектуальных системах на основе колонок. Затем для отношений формулируются базовые задачи и приводится их решение с помощью метода поэлементного сравнения и метода пересечений.

**Представление отношений**

Подмножество  $r \subseteq A^n$  называется  $n$ -местным, или  $n$ -арным, отношением в множестве  $A$ , где  $A^n$  – конечная декартова степень  $A^n = A \times \dots \times A$ . Число  $n$  называется рангом, или арностью, отношения  $r$  [1, с. 151].

Рассмотрим теперь некоторую область имен  $U_1$  и конечную декартову степень  $U_1^n = U_1 \times \dots \times U_1$ . Пусть  $r$  – некоторое  $n$ -арное отношение  $r \subseteq U_1^n$ . Оно состоит из конечного числа  $n$ -ок имен, т.е. образов  $(i_1, \dots, i_n) \in U_1^n$ . Все образы этого отношения  $p_{rk} = (i_{1k}, \dots, i_{nk}) \in r, 1 \leq k \leq |r|$ , можно наименовать при помощи некоторой области имен  $U_r$ . В результате будут получены  $l = |r|$  колонок вида  $(i_{rk} | p_{rk})$  или индекс  $R = \{(i_{rk} | p_{rk}) | k = 1, \dots, l\}$ , для которого существует очевидное отображение  $f_r : R \rightarrow r$ . В системах на основе колонок именно индекс  $R$  будет пониматься под отношением. Более точно,  $n$ -арным отношением будет называться любой индекс  $R \subseteq C^n(U_1, U_r)$ , где  $C^n(U_1, U_r)$  – множество всех колонок с образами из  $U_1^n$  и именами этих образов из области имен  $U_r$ . Образ  $d_R = \{i_{r1}, \dots, i_{rl}\}$ , состоящий из имен всех колонок индекса  $R = \{(i_{rk} | p_{rk}) | k = 1, \dots, l\}$ , называется определяющим образом отношения (индекса)  $R$ . Используемая далее для краткости запись  $p \in R$ , будет означать, что существует колонка  $(i_p | p) \in R$ , где  $i_p \in U_r$ .

Для того чтобы задать отношение  $R$  необходимо явным образом выделить или «отметить» все колонки  $(i_{rk} | p_{rk}) \in R$ . Это можно сделать, наименовав индекс  $R$ . Для этого достаточно наименовать его определяющий образ  $d_R$ , взяв любое чистое имя  $i_R \in U_r$ , где  $U_r$  – область имен отношений:

$$i_R \rightarrow \underbrace{\left\{ \begin{array}{ccc} p_{r1} & & p_{rl} \\ \uparrow & \dots & \uparrow \\ i_{r1}, & \dots & i_{rl} \end{array} \right\}}_R$$

Очевидно, по имени  $i_R$  однозначно выделяются все колонки отношения  $R$  и соответственно все образы, входящие в  $r = f_r(R)$ . Поэтому имя  $i_R$  также можно интерпретировать как имя отношения  $r = f_r(R)$ . Легко показать, чему равно соответствующее отображение  $\varphi_r : i_R \rightarrow r$ .

Действительно, пусть  $\varphi_R : i_R \rightarrow d_R$  – отображение наименования определяющих образов, а  $\varphi : i_{rk} \rightarrow p_{rk}$  – отображение наименования образов

$p_{rk} = (i_{1k}, \dots, i_{nk})$ . Тогда если определить  $f_R : d_R \rightarrow R$  как  $f_R(d_R) = \{(i_{r1} | \varphi(i_{r1})), \dots, (i_{rl} | \varphi(i_{rl}))\}$ , то отображение  $\varphi_r : i_R \rightarrow r$  равно  $\varphi_r = f_r \circ f_R \circ \varphi_R$ , т.е.  $\varphi_r(i_R) = f_r(f_R(\varphi_R(i_R)))$  или  $i_R \xrightarrow{\varphi_R} d_R \xrightarrow{f_R} R \xrightarrow{f_r} r$ .

**Базовые задачи для отношений**

Для отношений можно сформулировать следующие базовые задачи.

В прямой задаче для любого образа  $p = (i_1, \dots, i_n) \in U_1^n$  необходимо найти имена  $i_R \in U_r$  всех  $n$ -арных отношений  $R$  таких, что  $p \in R$ .

При решении обратной задачи необходимо по имени  $i_R \in U_r$  определить, т.е. восстановить, отношение  $R$ .

Схема решения этих задач непосредственно вытекает из приведенного выше представления отношений. Помимо средств решения базовых задач для образов  $p \in U_1^n$  будут использоваться еще два индекса  $A_R$  и  $B_R$ . Первый состоит из колонок  $(i | a_{Ri})$ , где  $i$  – имя известного системе образа  $p$ ,  $a_{Ri}$  – образ, состоящий из имен всех отношений  $R$  таких, что  $p \in R$ . Индекс  $B_R$  состоит из колонок вида  $(i_R | d_R)$ , где  $i_R$  – имя отношения  $R$ ,  $d_R$  – его определяющий образ.

При решении прямой задачи для отношений сначала для образа  $p$  определяется его имя  $i_p$ . Затем берется колонка  $(i_p | a_{ip}) \in A_R$ . Если такой колонки в индексе  $A_R$  нет, то образ  $p$  не входит ни в одно из известных отношений. В противном случае образ  $a_{ip}$  содержит имена всех отношений, которым принадлежит образ  $p$ .

При решении обратной задачи для отношений сначала для имени  $i_R \in U_r$  ищется определяющий образ отношения по имени  $i_R$ . Он равен образу  $b_R$  колонки  $(i_R | b_R) \in B_R$ . Если в индексе  $B_R$  нет колонки по имени  $i_R$ , то  $i_R$  – чистое имя. В противном случае по образу  $b_R$  восстанавливаются все колонки индекса  $R$ , для чего для каждого имени  $i_b \in b_R$  решается обратная задача  $i_b \rightarrow p_{ib}$ .

**Решение базовых задач с помощью метода поэлементного сравнения**

Рассмотрим приведенную схему более подробно на примере использования метода поэлементного сравнения образов. В этом случае при решении базовых задач для образов  $p \in U_1^n$  используется индекс  $A$ , который представляет собой множество колонок вида  $(i | a_i)$ , где  $a_i$  – образ, известный под именем  $i$  [4].

В исходном состоянии  $A = \emptyset$ .

Пусть  $p$  – произвольный образ, для которого надо решить прямую задачу, т.е. найти его имя. Образ  $p$  поэлементно сравнивается с образами всех колонок индекса  $A$ . Если найден совпадающий образ  $a_i$ , то его имя, т.е. имя колонки  $(i | a_i) \in A$ , является именем образа  $p$  и решением прямой задачи. В противном случае выбирается некоторое чистое имя  $i_p \in U_r$  и выполняется сложение  $A + (i_p | p)$ , т.е. к индексу  $A$  добавляется колонка  $(i_p | p)$ . Если образ  $p$  снова появится на входе системы, то поэлементное сравнение даст для него имя  $i_p$ .

При решении обратной задачи для  $\forall i \in U_r$  соответствующий образ  $p$  равен образу  $a_i$  колонки  $(i | a_i) \in A$ . Если колонки с таким именем в индексе  $A$  нет, то  $i$  – чистое имя.

Пусть теперь для некоторого образа  $p$  решается прямая задача для отношений. Сначала с помощью поэлементного сравнения для образа  $p$  определяется его имя  $i_p$ . Затем берется колонка  $(i_p | a_{i_p}) \in A_R$ . Если такой колонки в индексе  $A_R$  нет, то образ  $p$  не входит ни в одно из известных отношений. В противном случае образ  $a_{i_p}$  содержит имена всех отношений  $R$  таких, что  $p \in R$ .

Если для некоторого имени  $i_R \in U_R$  решается обратная задача для отношений, то берется колонка  $(i_R | b_R) \in B_R$ . Если в индексе  $B_R$  нет колонки по имени  $i_R$ , то  $i_R$  – чистое имя. В противном случае определяющий образ отношения  $R$  по имени  $i_R$  равен образу  $b_R$  колонки  $(i_R | b_R)$ . По нему восстанавливаются все колонки индекса  $R$ . Для каждого имени  $i_b \in b_R$  соответствующая колонка индекса  $R$  равна колонке  $(i_b | a_{i_b}) \in A$ , т.е.  $R = \{(i_b | a_{i_b}) \in A | i_b \in b_R\}$ .

#### Решение базовых задач с помощью метода пересечений

Для метода пересечений будет рассматриваться более сложный случай с отношениями арности  $1 \leq m \leq n$ . Очевидно, все образы, которые входят в эти отношения, принадлежат множеству образов  $P = \bigcup_{m=1}^n P^m$ , где  $P^m = U_1^m$ ,  $U_1$  – некоторая область имен.

Применение метода пересечений для запоминания образов  $p \in P$  предполагает использование индекса уровня  $L^2$  вида  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ , индекса  $B$ , а также заданной с помощью упорядоченных пар  $(i, m_i)$  функции  $m(i)$ , которая содержит раз-

мерность известных образов [4, 5, 7]. Следовательно, согласно приведенной выше схеме при решении базовых задач для отношений арности  $1 \leq m \leq n$  будут использоваться индексы  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ ,  $B$ , функция  $m(i)$ , а также индексы  $A_R$  и  $B_R$ .

В исходном состоянии  $A = \emptyset$ ,  $B = \emptyset$ ,  $m(i) = \emptyset$ ,  $A_R = \emptyset$  и  $B_R = \emptyset$ .

Пусть имеется  $m$ -арное отношение  $r$ , состоящее из  $l_r = |r|$  образов  $p_{rk} \in P^m$ . Сначала необходимо получить все колонки отношения  $R$ , наименовав, т.е. запомнив под определенными именами, все образы  $p_{rk} \in r$ .

Как было показано в [4, 5, 7], для того чтобы запомнить под именем  $i_p$  некоторый образ  $p \in P^m$ ,  $1 \leq m \leq n$ , необходимо выполнить сложения:

$$A + (p | i_p) = \{A_1 + (i_1 | \{i_p\}), \dots, A_m + (i_m | \{i_p\})\},$$

$$B + (i_p | p),$$

$$m(i) \cup (i_p, m),$$

т.е. к каждому индексу  $A_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ , добавляется колонка  $(i_k | \{i_p\})$ , где  $i_k$  –  $k$ -я координата образа  $p$ , к индексу  $B$  добавляется колонка  $(i_p | p)$ , а в определение функции  $m(i)$  добавляется пара  $(i_p, m)$ .

Следовательно, изменение индексов  $A$ ,  $B$  и функции  $m(i)$  при запоминании всех  $l_r$  образов  $p_{rk} \in P^m$  отношения  $r$  можно представить цепочкой сложений [4, 5]:

$$A = \sum_{k=1}^{l_r} (p_{rk} | \{i_{rk}\}), \quad B = \sum_{k=1}^{l_r} (i_{rk} | p_{rk}), \quad m(i) = \bigcup_{k=1}^{l_r} (i_{rk}, m),$$

где  $i_{rk} \in U_r$  – имя образа  $p_{rk}$ ,  $U_r$  – область имен для наименования образов множества  $P$ .

После выполнения этих операций будут получены все колонки отношения  $R$  и его определяющий образ, равный  $d_R = \{i_{r1}, \dots, i_{rl_r}\}$ .

Для запоминания самого отношения  $R$ , т.е. его определяющего образа  $d_R$ , выбирается любое чистое имя  $i_R \in U_R$ , где  $U_R$  – область имен для наименования отношений, и выполняются сложения:

$$A_R + (d_R | \{i_R\}) = A_R + \sum_{k=1}^{l_r} (i_{rk} | \{i_R\}), \quad B_R + (i_R | d_R),$$

т.е. к индексу  $A_R$  добавляются  $l_r$  колонок  $(i_{rk} | \{i_R\})$ , а к индексу  $B_R$  добавляется колонка  $(i_R | d_R)$ , где  $i_{rk} \in d_R$  – имя образа  $p_{rk}$ ,  $k = 1, \dots, l_r$ . В результате все колонки индекса  $A_R$  с именами  $i_{rk} \in d_R$  получают образ, состоящий из имени  $i_R$  отношения  $R$ .

Аналогичным образом запоминаются другие отношения  $r$  с арностью  $1 \leq m \leq n$ . Факторизация по имени [4, 7] может привести к тому, что в некоторых образах колонок индекса  $A_R$  будет содержаться более одного имени отношения. Это означает, что один и тот же образ  $p_r$  по имени  $i_r$  принадлежит разным отношениям одинаковой арности, т.е.  $i_r \in d_{R_1}, \dots, d_{R_{n_r}}$ .

Прямая задача для отношений для любого образа  $p \in P$  будет решаться следующим образом. Для простоты будем рассматривать случай с полной информацией [4, 5].

Пусть имеется  $m$ -мерный образ  $p = (i_1, \dots, i_m) \in P$ . Для него вычисляется покоординатное пересечение  $\eta(p) = \bigcap_{k=1}^m a_k$ , где  $a_k$  – образ колонки  $(i_k | a_k) \in A_k$ ,  $i_k$  – имя, являющееся  $k$ -ой координатой образа  $p$ .

Если  $\eta(p) = \emptyset$  или  $m(i) \neq m$  для  $\forall i \in \eta(p)$ , то образ  $p$  неизвестен системе. Следовательно, он не может входить в известные отношения арности  $m$ , так как все образы, участвующие в определении таких отношений, известны системе. Он запоминается под некоторым именем  $i \in U_r$  так же, как это делалось для образов, входящих в отношения.

Пусть теперь образ  $p \in P$  известен системе под именем  $i_p$ , т.е. покоординатное пересечение  $\eta(p)$  содержит единственное имя  $i_p$  такое, что  $m(i_p) = m$  [4, 5].

Далее берется колонка  $(i_p | a_{i_p}) \in A_R$ . Если такой колонки в индексе  $A_R$  нет, то образ  $p$ , известный под именем  $i_p$ , не принадлежит ни одному из известных  $m$ -арных отношений. В противном случае образ  $a_{i_p}$  колонки  $(i_p | a_{i_p}) \in A_R$  содержит имена всех отношений  $R$  арности  $m(i_p) = m$  таких, что  $p \in R$ .

Рассмотрим теперь решение обратной задачи для отношений для любого имени  $i_R \in U_R$ . Берется колонка  $(i_R | b_R) \in B_R$ . Если колонки с таким именем в индексе  $B_R$  нет, то  $i_R$  – чистое имя. В про-

тивном случае образ этой колонки  $b_R$  – это определяющий образ известного под именем  $i_R$  отношения  $R$ . Образ содержит имена всех колонок индекса  $R$ . Для любого имени  $i_b \in b_R$  соответствующая колонка индекса  $R$  равна колонке  $(i_b | b) \in B$ , т.е.  $R = \{(i_b | b) \in B | i_b \in b_R\}$ .

#### Список литературы:

1. Математическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. – 1984. – Т. 4. – 1216 с.
2. Михайлов А.М. Распознавание образов с помощью их индексирования // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 4. – С. 151–161.
3. Михайлов А.М. Индексный подход к распознаванию образов и видеоклипов // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 12. – С. 139–152.
4. Чесноков А.М. Интеллектуальные системы на основе колонок // Управление большими системами. – 2013. – № 46. – С. 118–146.
5. Чесноков А.М. Интеллектуальные системы на основе колонок при неполной информации // Управление большими системами. – 2014. – № 50. – С. 84–98.
6. Чесноков А.М. Области образов и логический вывод с переменными в интеллектуальных системах на основе колонок // East European Scientific Journal. – 2017. – № 2 (18), part 1. – P. 53–59.
7. Чесноков А.М. Введение в общую теорию колонок. – М.: ИПУ РАН. – 2012. – 141 с.
8. Brin S., Page L. The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine // Proceedings of Seventh International Conference on World Wide Web (WWW7) – Amsterdam: Elsevier. – 1998. – P. 107–117.
9. Chesnokov A.M. Finite Multisets as Patterns in Column-Based Intelligent Systems // Automation and Remote Control. – 2015. – Vol. 76. – No. 9. – P. 1681–1688.
10. Mikhailov A. Artificial Neural Cortex // Proceedings of Artificial Neural Networks in Engineering Conference (ANNIE 2001). – Nov. 4–7, 2001. – St. Louis, Missouri, U.S.A.
11. Mikhailov A. Biologically Inspired Artificial Neural Cortex and its Formalism // World Academy of Science, Engineering and Technology. – August 2009. – Vol. 56. – P. 121.
12. Mikhailov A. Indexing-based Pattern Recognition // Advanced Materials Research. – 2012. – T. 403–408. – P. 5254–5259.

*Savrukhin Anatoly Petrovich.**Candidate of engineering science, a senior research scientist. Pensioner.**Саврухин Анатолий Петрович.**Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Пенсионер.*

## THE ESSENCE OF LIGHT. СУЩНОСТЬ СВЕТА.

**Summary:** The evidences of insolvency of assumptions about that light is electromagnetic waves or corpuscles. It is proposed the hypothesis that light is a stream of pulses of a strong field.

**Key words:** light, electromagnetic waves, strong field, the ether, vacuum, photon, corpuscles.

**Аннотация:** Приводятся доказательства несостоятельности предположений о том, что свет это электромагнитные волны или корпускулы. Предлагается гипотеза, согласно которой свет есть поток импульсов сильного поля.

**Ключевые слова:** свет, электромагнитные волны, сильное поле, эфир, вакуум, фотоны, корпускулы.

Что такое свет? Этот вопрос волнует человечество с давних времён потому, что свет есть важнейшее условие существования жизни на Земле.

Создано около ста теорий на эту тему, например, наиболее популярная корпускулярно-волновая теория, но общепринятой пока нет. Сложность вопроса в том, что выявлено множество, как кажется, слабо связанных оптических явлений. В настоящей статье представляется физическая основа света, которая, возможно, приблизит нас к ответу на вопрос.

**Предисловие.** "Вакуум это абсолютно" [1]. "... теория относительности Эйнштейна ... уже не объясняет всех проблем, связанных с элементарными частицами, и что нужно искать дальнейших путей ..." [2] "... Пороки современной теории (элементарных частиц) глубоко ей присущи и могут быть исправлены лишь путём создания новой теории, фундаментальным образом отличающейся от существующей" [3]. "... Основы существующей теории нуждаются в решительном пересмотре...", "... что современная релятивистская квантовая механика... существенно хромает..." [4]. "...Трудности современной теоретической физики носят принципиальный характер именно потому, что она опирается на теорию относительности - эту основную физическую теорию, наряду с квантовой механикой" [5]. "...необходимо значительно более радикальный пересмотр теории относительности и квантовой теории, причём надо будет попытаться не кое-как приспособить нынешние теории, принимая в их основе предположения, а коренным образом пересмотреть их логическую и философскую базу..." [6].

**Свет.** Вакуум служит основой Вселенной. Вакуум передаёт без искажений все виды взаимодействий, не обнаруживает никаких химических свойств и обладает свойствами диэлектрика. То обстоятельство, что тела, частицы, фотоны перемещаются, а свет распространяется в вакууме без затухания, позволяет заключить, что обмен энергией с ним не происходит, т.е. деформации вакуума абсолютно упругие. Из того, что скорость света в вакууме ограничена, следует квазидискретность, а параметры ячеек пространственной решётки вакуума соответствуют планковским константам. Комптоновские размеры частиц на 20 порядков больше размеров ячейки, поэтому вакуум практически изотропен. Вакуум определяем как пространство, из

которого удалены все материальные объекты и, соответственно, связанные с ними поля.

Рассмотрим процесс преобразования ячейки вакуума, при котором формируется и отделяется электрон, а оставшаяся часть образует протон (время жизни  $8,2 \cdot 10^{33}$  лет). Эта пара образует атом водорода (92 % всех атомов Вселенной). Размер электрона в  $10^{23}$  раз больше размера ячейки решётки, он представляет собой огромную область вакуума. Ячейки, а также элементы в атомах, связаны сильным взаимодействием. Частицы обладают также электрическими (ЭП) и магнитными (МП) полями. Свет есть основное средство обмена энергией в мировом пространстве по вакуумной решётке, как носительнице сильного взаимодействия. Причина в том, что импульсы сильного поля (СП), а это и есть свет, не преобразуют поля решётки, поэтому в вакууме нет потерь энергии. Наличие света является одним из важнейших условий существования жизни на нашей планете Земля. Свет это единственный неисчерпаемый источник энергии, необходимой для процветания природы, нашей кормилицы. Правильное использование света позволило бы нам избавиться от употребления невозможных источников, таких как уголь, нефть, газ и прочее.

Электричество, оперирующее ЭП и МП, служит средством управления светом настолько, насколько эти поля можно отнести к вариациям или компонентам СП. Предметом управления являются электрон и протон, как носители всех трёх полей. Среди всех видов обмена энергией свет выделяется тем, что его диапазон частот благоприятен биологической жизни, по крайней мере, на планете Земля. Более низкие частоты малоэффективны, а высокие - разрушительны. Хотя и существует ионосферная защита, в атмосфере наблюдаются опасные потоки элементарных частиц. Движения электронов в искажённом атоме вакуума есть возмущения в форме импульсов. Именно они и распространяются по вакууму. По Фарадею внешнее МП ориентирует магнитные моменты электронов атомов, что, в свою очередь, ориентирует сильное поле среды, а это влияет на прохождение света. Луч изменяет направление в зависимости от того, до какой степени оптически неоднородный материал изменяет состояние вакуума, искажая

его. Металлы это легко поляризуемая среда. МП образуется из суммы магнитных моментов согласно ориентированных электронов. На самом деле, движения электронов в антенне порождают волнения в вакууме, которые есть колебания СП, основы вакуума. Прежние публикации [7] закончились следующими выводами: 1. Именно заряд электрона является квантом заряда и потока электрической индукции, а его магнитный поток - квантом потока магнитной индукции. Подобно тому, как вводится ЭП через заряды, вводится МП через магнитные моменты (ММ) элементарных частиц. ЭП и МП создаются только элементарными частицами. 2. Рассчитано [8, 9], что более 99% энергии электрона составляет энергия сильного поля. Взаимодействие его с ядром по этой компоненте обеспечивает устойчивость атома, но не способно уравновесить сильное поле ядра. Таковое поле создаётся ядрами атомов и остаётся некомпенсированным и в веществах, и вне их, где интенсивность быстро падает по мере удаления от тел; именно оно ответственно за межатомные силы. Отсюда, в частности, следует, что свет есть распространяющееся возбуждение вакуума по СП, генерируемое сильными полями атома; как известно, лучи света не отклоняются ЭП и МП. 3. В прозрачных телах взаимодействие с указанным полем отвечает за скорость распространения света и величину коэффициента преломления. В непрозрачных телах особая конфигурация сильного поля провоцирует процессы поглощения энергии импульсов (фотонов). 4. Нижней границей  $\gamma$ -квантов и верхней для рентгеновских  $X$ -квантов следует считать энергию электрона 0.511 МэВ (таковые имеются во множестве изотопов) потому, что это эталонная наименьшая величина. Их можно отнести к категории фотонов - квантов, поскольку их пара может при фоторождении воспроизвести пару электрон-позитрон. 5. Предложена модель, признающая универсальным сильное взаимодействие. Именно оно со своими компонентами определяет процессы, свойственные атомной и молекулярной физике. 6. Сформулировано понятие: **свет есть распространение со скоростью с области возбуждения вакуума полем, свойственным сильному взаимодействию.**

1. Первозданные элементарные частицы это электрон и протон; это сложные системы из преобразованных ячеек вакуума. Участие протона в электрических процессах весьма мало, поэтому обратимся к электрону. Принято считать, что электрон: а) обладает зарядом, который создаёт ЭП; б) имеет собственное МП. ЭП распространяется радиально вокруг электрона; а МП имеет два полюса, что придаёт ему способность ориентироваться. Это свойство электрона, других источников таких полей больше нет. 2. Рассмотрим поведение электрона в атомах веществ. Подключим проводник к источнику ЭДС с разностью потенциалов  $U$ , задав тем самым в нём ЭП. Электрон вытягивается против поля, что поворачивает его ММ. При этом МП всех электронов суммируются, и направление  $H$  устанавливается перпендикулярно  $E$ . Итак, МП не порождает

ЭП, а всего лишь проявляется путём однопроводного выстраивания электронов. В контуре проводника установим магнит. Реакция отсутствует: стационарное МП не порождает ЭП. Удалим магнит и обнаружим бросок появления ЭП. Итак, ЭП не порождается МП, а всего лишь проявляется. 3. Не существует вихревое ЭП и передача ЭМВ, т.к. на них не влияют ни ЭП, ни МП. Тем более, что в ЭМВ предусматривается переход энергии через ноль. ЭП и МП возникают только там, где есть электроны. Объём определяется размерами области генерации и напряжённостями полей. Так, ЭП электрона не уходит в бесконечность, границей служит минимальный квант для возбуждения ячейки решётки вакуума. Что касается распространения сигналов на большие расстояния, то это особый процесс. 4. А именно, он состоит из следующих звеньев: источник энергии – генератор – преобразователь – вакуум – преобразователь – приёмник – потребитель. Преобразователи необходимы для перевода так называемой электромагнитной формы сигнала в фотонную, и обратно. Действительно, ведь по процессам в источнике и приёмнике нельзя судить о передаче по вакууму. 5. Все мы есть он же, но местами, которые называют элементарными частицами, он подпорчен в том смысле, что это особые области. Следовательно, связь по вакууму осуществляется не ЭМВ, а по сильному взаимодействию. Одной из причин невозможности распространения ЭМВ состоит в том, что для этого требуется распаковка ячеек вакуума. Нет никаких источников ЭП и МП, кроме электрона и протона, поэтому эти поля не существуют в вакууме в удалённых областях. Иначе говоря, в них невозможно обнаружить ЭМВ. ЭП и МП могут быть образованы только соответствующей организацией несущих поля частиц. В пустом вакууме не существуют ЭП и МП, и невозможны операции преобразования полей. Если в излучающей и принимающей антеннах наблюдаются ЭП и МП, то из этого не следует, что связь осуществляется ЭМВ. ЭМВ есть химера, т.к. в них имеются точки перехода через ноль. До сих пор не установлено пространственное распределение этих полей. Инертность же в том, что привести тело в движение, значит изменить состояния полей. 6. Спиновый магнитный момент (ММ) электрона равен магнетону Бора  $\mu_B$ . Это его фундаментальное свойство, которое, подобно электрическому заряду, остается без изменений в любых условиях и при любых воздействиях. 7. ЭМ колебания в атомах быстро затухают на расстоянии, это дело электронов. При этом возбуждается и сам эфир, распространяя ударные пучки или всплески СП, они распространяются далее продольно. Это и есть так называемые фотоны. ЭП и МП падают как  $g^2$  так быстро, что далеко не распространяются. Обратный процесс в приёмной антенне. 8. Генератор задаёт частоту сигналов, антенна преобразует в импульсы для эфира. Они далеко не синусоидальные. Если рассмотреть развёртку через дифракцию на щели, то это штриховая линия: штрих по длине волны это длина импульса, а пауза есть интервал между импульсами.

Итак, имеем продольное импульсное СП, это и есть свет. Если один из штрихов ещё раз пропустить через вторую щель, картина повторяется, и так до размера атома. На экране след от лазера виден со всех сторон издали. Это волны или частицы? Огромный объём пространства охвачен и заполнен, может ли такое быть? Конечно, нет. 9. Излучения есть импульсы, возбуждения эфира, которые сетчаткой в глазу преобразуются в электрические сигналы, реакция на которые называются светом. Сам эфирный поток не воспринимаем, т.к. он не рассеивается. Например, мы не видим даже проходящий через прозрачную среду луч, если она не подкрашена.

Электроны вещей преобразуют импульсы эфира в ЭП и МП, которые и воспринимаемы нами. И, наоборот, возбуждение электронов порождает ими импульсы эфира. Глаз это преобразователь, посредник между потоком в вакууме и воспринимаемым нами светом. 10. Чёрная краска не отражает фотоны. Чёрная поверхность вполне может излучать импульсы: инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские, гамма лучи... Просто наш глаз не воспринимает данный спектр фотонов, так что наш мозг все равно раскрасит эту поверхность в чёрный. 11. Сравните длину волны видимого света  $0.5 \cdot 10^{-6}$  м (0.5 мкм) с характерным расстоянием между частицами в кристалле  $0.5 \cdot 10^{-9}$  м (0.5 нм). Легко увидеть, что видимый свет "не замечает" отдельные атомы. Со светом примерно так же. 12. Наблюдение над лучами, выходящими из щели: на изогнутой по радиусу бумажке виден слабый след штриховой линии как результат расхождения луча. Глаз же наблюдает яркий свет при любом угле. То же наблюдается, например, с яркой точкой на стене. Это значит, что в глазу и мозге суммируются энергии за время наблюдения, тогда как на бумаге показаны только мгновенные значения. 13. Лампы с нитью при вращении щели показывают разложение белого света от луча только при положении щели параллельно нити. Поэтому луч не выглядит цилиндрическим. 15. Свет как поток импульсов подтверждает в этой части баллистическую теорию Ритца. 16. Помнить, что атомы состоят из частиц, каковые сами есть эфирный дефект; иначе скорость распространения поля не будет равна скорости света. 17. Свет при излучении спирали имеет максимум интенсивности, плотности, то есть давления, что приводит к саморасширению. 18. На решётке атом водорода порождается сразу, скорее всего от влияния извне. Образуется область с протоном посередине и электроном в виде оболочки. Сильное взаимодействие расталкивает, а поле Е сжимает (ЭП есть компонента СП, как и МП). Водород не взаимодействует с внешними полями МП и ЭП потому, что у атома их нет. Это значит, что суммарное МП и ЭП электрона и протона равно нулю. Остальные атомы есть производные от атома водорода, так, как и все элементарные частицы есть производные от электронов и протонов. ЭМВ и поля наблюдаются лишь на малых расстояниях от веществ, и не могут распространяться отдельно от них. И вообще, химические элементы с ЭП не существуют, также и с МП (отдельно стоят магнитные руды, но это связано со

сложностью состава и влиянием МП Земли). Также особняком стоят радиоактивные изотопы и искусственно созданные вещества. Дальнейшее не теряет энергии. Баллистическая теория Ритца трактуется так: снаряд в вакууме не теряет энергию, но даже и в воздухе теряет только кинетическую часть, а мощность взрыва заряда при столкновении не теряется. Свет состоит из последовательности импульсов СП; он слабеет с расстоянием за счёт расходимости. Его особенность в том, что он не теряет "заряд" (см. солитоны или схожее). 19. Свет это не ЭМВ и не корпускулы, но импульсы СП. Вакуум нейтрален по всем полям. ЭП и МП - от электронов и протонов, которые есть результат разрушения ячеек вакуума. Импульсы СП возникают там, где есть провалы или искажения как результат воздействия ЭП и МП возбуждённых частиц. Таков свет в вакууме только, а в плотных средах он преобразуется под действием полей среды. Корпускулы это разного рода комбинации электронов и протонов. Поляризация это разворот импульсов вокруг луча под влиянием среды прозрачного тела: неоднородности, кристаллизация и т.п. 20. Иметь в виду, что интенсивность излучения падает от центра сечения луча лазера к краю. Это влияет на толщину штрихов и яркость. Свет и не корпускула в смысле обладание массой, невесомый он. Остаётся вариант последовательности импульсов сильного поля в вакууме: безинерционное возбуждение ячейки за счёт сброса энергии из предыдущей ячейки. Закачка энергии из источника нужна только для опоры очередной ячейки, чтобы она не сбросила энергию обратно. 21. Свет идёт по вакууму. Прозрачные тела мало влияют на решётку вакуума, а металлы - сильно. Но тонкая пластина золота полупрозрачна. 22. Колбочки глаза настроены на 3 частоты, соответственно 3 цвета: красный, зелёный и синий. Остальные - смешением в мозге. 23. Поле электрона не распространяется на большие расстояния, поскольку решётка вакуума имеет ограничение на минимум кванта. Его ЭП направлено радиально, а МП - аксиально. 24. Мироздание. Вселенский вакуум. Роль света: связи и побуждение к изменениям. 25. Электрон не обязательно имеется в атоме как частица. Таковой создаётся внешним воздействием. Он сам вакуумное образование, потому он то и трясёт вакуум по СП, создавая импульсы в нём. Размер электрона около  $2.8 \cdot 10^{-15}$  м, а планковская длина  $1,616 229(38) \cdot 10^{-35}$  м. Это большая область вакуума, и её движение приводит к образованию импульсного возбуждения именно по СП. Представьте себе атом кристалла со ста электронами, окружённый ещё четырьмя такими же атомами, если все электроны вращаются! 26. Может ли производное понять исходное, а человек - вакуум? Можно познавать свойства частиц и полей, но не понимать, почему это так. Электрон обладает тремя полями, но как возникают они и чем определяются? 27. Источники света разнообразны, но, в конечном счёте, генерация, скорее всего, определяется поведением электронов. Разнообразны воздействия на атомы, но рабочей частью служит электроны, в которых более 99% энергии это энергия

СП. Принято считать, что возбуждённые электроны атомов формируют не обладающие ЭП и МП фотоны за счёт собственных полей, то есть 1% своей энергии. Так ли это? 28. Считается, что фотон не имеет массы покоя. Следовательно, если фотон и является колебаниями какой-то среды, то эта среда не имеет *массовой* плотности, но может иметь *энергетическую* плотность. 29. Фотоны не взаимодействуют между собой. 30. Что удержит ЭМВ от звезд? Иное дело импульсы СП, идущие как снаряды: они не требуют подкачки энергии (как волны), т.к. вакуум сам в этой среде. Не длина волны, а период следования импульсов; частота та же. 31. Свет воспринимается глазом только прямым попаданием луча. Если мы видим светлую точку, значит, мы находимся в потоках рассеивания лучей. Сами импульсы, из которых состоит луч, преобразуются в чувствительных клетках глаза в импульсы, способные передаваться в клетки мозга. 32. Инертность тел заключается в том, что для изменения скорости движения требуется внешнее воздействие. В чистом вакууме нет затрат энергии движущегося тела, как в абсолютно упругой среде. Например, в ней усилия на продавливание колесом опоры уравниваются реакцией отдачи другой стороны колеса. 33. Гравитация. Атом связан в систему потому, что электрон и протон есть местные симметричные дефекты (соразмерные искажения) вакуума. Подобно этому образуются и тела, а затем и космические объекты. В атоме не происходит схлопывания частиц потому, что этому противостоит СП, обеспечивая тем самым устойчивое равновесие.

**Мироздание и Вакуум.** Видеть окружающий мир мы можем только потому, что существует свет и человек способен его воспринимать. В живой природе энергия — фундамент жизнедеятельности организмов. Энергетика Солнечной системы и Земли в значительной мере определяют ход жизненных процессов на планете. Биосфера закономерно изменяет приход и отражение солнечной энергии, образуя озоновый экран, используя углекислый газ и меняя отражающую способность поверхности земли. Эволюция всегда есть функция энергетики Земли.

Свет это одно из важнейших условий существования жизни на Земле. В масштабе галактики выгорание бывших планет через излучение пополняет баланс энергии молодых планет. Свет утилизирует энергию, перенося её на другие объекты. Свет это тепло, энергия с небес.

Луcretий Кар упоминает, что «эфир питает созвездия», то есть светила состоят из сгущённого эфира. Аристотель писал: «Солнце не состоит из огня; оно есть огромное скопление эфира...». Эфир заполняет весь внеземной Космос. В. Юнг и Френель рассматривали свет как упругие (продольные) колебания разрежённого, но чрезвычайно упругого эфира, подобные звуку в воздухе. "Согласно общей теории относительности пространство немислимо без эфира" [10]. "Мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира, т.е. континуума, наделен-

ного физическими свойствами"[11]. Фарадей категорически отрицал возможность действия на расстоянии через пустоту.

«Термин эфир имеет слишком много толкований, он устарел; физический вакуум – специфичен; оставляем вакуум»[12]. Все сущее состоит из двух противоположных начал. Это философское положение полностью относится и к эфиру. Исходя из этого принципа, следует ожидать, что субмикромир, а именно эфирная среда, состоит из двух видов частиц, положительно и отрицательно заряженных [13].

Среда и само пространство обладает структурой. Эта структура есть динамическая решетка эфира. Называя ее "динамической", я подчеркиваю, что она находится в постоянной динамике, ...называя ее "решеткой", я подчеркиваю, что она есть одно целое, среда, заполняющая все пространство, тот самый эфир, который искали [14]. Признание существования эфира это окончательный отказ от принципа относительности и переход к представлению о единстве божественного мира, объединяемого всепроникающей средой – эфиром. Эта среда определяет абсолютную систему отсчета пространственных координат и времени.

#### Версия автора

Принимается, что параметрам ячеек пространственной решётки вакуума соответствуют планкионы, предложенные Планком константы [4]. Ячейки представляют собой гармонические осцилляторы с противоположными фазами. Основой Вселенной служит вакуум. При его неизмеримых пространственных и временных величинах неизбежны спонтанные новообразования. При преобразовании ячейки вакуума формируется и отделяется электрон, а оставшаяся часть образует протон (время жизни  $8,2 \cdot 10^{33}$  лет). Эта пара образует атом водорода, а это 92 % всех атомов Вселенной (атомов гелия - около 8 %, а остальных элементов — менее 0,1 %).

Поскольку размер электрона в  $10^{23}$  раз больше размера ячейки решётки, он представляет собой огромную область в вакууме; атом тогда уподобляется солнечной системе. Ячейки, а также элементы в атомах, связаны СП. Одиночные частицы обладают дополнительно ЭП и МП полями. Это первозданные свойства; изменять поля извне можно только оперируя частицами.

Вакуум это абсолютно упругая среда, передвижение по которой не требует затрат энергии, поскольку отсутствуют трение и рассеяние. У фотонов СП, как у ячеек вакуума, поэтому нет необходимости распаковки на образование ЭП и МП. Частицы же имеют все три поля, поэтому для их ускорения требуется затрата энергии на первичное преобразование ячеек вакуума в объёме частицы. Таким образом, масса есть мера энергии, требуемой на разгон частицы. Наблюдаемые нами области Вселенной образованы вакуумом, в котором ничтожная часть содержит вкрапления в виде вещества, представленного элементарными частицами. Протон это основа, оставшаяся часть ячейки, а

электрон - подвижная часть; вместе это атом водорода. Вещества составлены из них, их совокуплений и преобразований.

"...то, что в физике считали пустотой, на самом деле является некоторой средой. Назовем ли мы её по старинному "эфиром" или же более современным словом "вакуум", от этого суть дела не меняется..." [15].

**Электрон** наиболее активный участник электрических и магнитных явлений, это неделимая элементарная частица, обладающая массой. Электрон не точка, он охватывает огромное число ячеек вакуума и передвигается подобно волне. Электроны формируют фотоны, а не ЭМВ; это не колебания, задаваемые неведомым генератором.

Поля электрона ограничены областью, границы которой определяются минимальным квантом ячейки решётки вакуума. При переходе электронов между уровнями, атомом поглощаются или излучаются фотоны. Именно заряд электрона является квантом заряда и потока электрической индукции, а его магнитный поток - квантом потока магнитной индукции. Подобно тому, как вводится ЭП через заряды, должно вводиться МП через ММ элементарных частиц. Рассчитано [4], что более 99% энергии электрона составляет энергия СП. Взаимодействие его с ядром по этой компоненте обеспечивает устойчивость атома, но не способно уравновесить сильное поле ядра. Таковое поле создаётся ядрами атомов и остаётся некомпенсированным в веществах, и вне их, именно оно ответственно за межатомные силы.

Свет есть распространяющееся возбуждение вакуума по СП, генерируемое СП атома; как известно, лучи света не отклоняются ЭП и МП. Поля электрона ограничены областью, границы которой определяются минимальным квантом ячейки решётки вакуума. Опыты не подтвердили легенду о волновых свойствах электрона. Электроны формируют фотоны, а не ЭМВ; это не колебания, задаваемые неведомым генератором.

#### **Свободные заряды**

1. В меди, например, плотность энергии при нагреве от 0 К до 300 К составят около  $6.14 \times 10^2$  Дж/см<sup>3</sup>. При энергии ионизации атома меди 7.72 эВ потребуется энергия с плотностью, характерной для плазмы. 2. Если проводник охлаждают, то количество свободных электронов должно падать. В действительности, наоборот, проводимость растёт. 3. Гипотеза о свободных электронах не согласуется с тем фактом, что длина волны электрона на два порядка меньше размеров атома. 4. Скорость электронов при наличии тока и разных температурах разное, и МП будет различным, что противоречит практике. 5. Сверхпроводимость (СВ) это состояние, когда поступающие извне импульсы не превышают порога, кванта действия  $h$ ; напряжённость электрического поля нулевая; об ионизации и речи быть не может: феномен СВ исключает возможность существования свободных электронов. 6. Опыты по электростатике также доказывают отсутствие переноса электрических зарядов, тем самым, исключая наличие свободных зарядов. 7. Прямые

измерения тока автору не известны, эталон не создан. 8. Гипотеза свободных электронов не способна объяснить ряд физических эффектов, таких как изменение намагничённости металла под действием механических деформаций или изменение проводимости под действием внешнего МП. Делаем заключение: при нормальных условиях, тем более при температурах сверхпроводимости, свободных электронов нет, как нет и тока переноса зарядов [5].

**Поля.** Теория поля исключает возможность существования вихревого ЭП. В замкнутом проводящем контуре генерируется не вихревое поле, а круговая потенциальная ЭДС, энергия которой целиком расходуется на тепловые потери в контуре [16]. Поле это напряжённое состояние вакуума, проявляющееся в возникновении в пространстве каких либо сил, но не как самостоятельную сущность. Предположение Максвелла о существовании в эфире ЭМВ опровергается экспериментами Н. Тесла, который пришел к заключению, что «было бы большой ошибкой полагать, что излучаемая энергия распространяется в виде ЭМВ». Действительно, ниоткуда не следовало, что энергия электромагнитных колебаний в излучателе или детекторе Герца переносится в пространстве без какого-либо ее преобразования в другие формы. О нереальности такой передачи свидетельствуют многочисленные эксперименты, приближающие нас к пониманию неэлектромагнитной природы света. Цепи переменных токов, разорванные конденсаторами, не образуют вихревого электрического поля [17].

**Версия автора.** ЭП и МП это не особая материя, а состояние вакуума, определяемое частицами; они отсутствуют в чистом вакууме. Электрон сам есть дефект вакуума. Это полевой объект, он обладает энергией; масса же его инертная. То же относится к веществам. То, что вещество состоит из полевых объектов, подтверждается: прохождением лучей света с малыми потерями через прозрачные тела, рентгеновских лучей через диэлектрики, гамма лучей через множества материалов, а также явлениями аннигиляции. Поле без источника не существует, т.е. не является независимым видом материи. Понятие ЭП и МП ввёл Фарадей, имея в виду, что электрические и магнитные взаимодействия имеют место в материальных полях. Действительными источниками этих полей являются электроны и протоны. Полевой объект есть область возмущения вакуума, либо перемещающаяся со скоростью света по вакууму (фотоны), либо обладающая способностью к аннигиляции. Нет никаких источников ЭП и МП, кроме электрона и протона, а размер области влияния этих полей ничтожен. Поэтому эти поля не существуют в областях вакуума, удалённых от вещества. Иначе говоря, в них невозможно обнаружить электромагнитные поля. ЭМВ есть химера, т.к. в них имеются точки перехода через ноль, и невозможно преобразовать ЭП в МП. До сих пор не установлено пространственное распределение этих полей. Если в излучающей и принимающей антеннах наблюдаются ЭП и МП, то из

этого не следует, что связь осуществляется ЭМВ. На самом деле, движения электронов в антенне порождают волнения в вакууме, которые есть колебания сильного поля, основы вакуума.

#### **Сильное взаимодействие**

На решётке атом водорода порождается сразу, скорее всего от влияния извне. Образуется область с протоном посередине и электроном в виде оболочки. Сильное взаимодействие расталкивает, а ЭП сжимает. Водород не взаимодействует с внешними полями МП и ЭП потому, что у атома их нет. Это значит, что суммарное МП и ЭП электрона и протона близко к нулю. МП и ЭП наблюдаются лишь на малых расстояниях от веществ, и не могут распространяться отдельно от них. Свет не корпускула в смысле обладание массой, невесомая она. Остаётся вариант последовательности импульсов сильного поля в вакууме: возбуждение ячейки за счёт сброса энергии из предыдущей ячейки. Закачка энергии из источника нужна только для опоры очередной ячейки, чтобы она не сбросила энергию обратно.

ЭМ колебания в атомах быстро затухают на расстоянии, это дело электронов; при этом возбуждается и сам эфир, распространяя ударные пучки или всплески сильного поля СП, они распространяются далее. Это фотоны. Таков свет в вакууме. Не удивительно, что атомные поля краёв щели создают такое же изменение, уподобляясь линзе. В нашей модели сильное взаимодействие признаётся универсальным. Именно оно со своими компонентами определяет процессы, собственные атомной и молекулярной физике. Импульсы СП, идущие как снаряды, не требуют подкачки энергии. Свет создаётся не колебаниями электронов, а короткими импульсами. Если возбуждения периодичны, то образуется цуг, принимаемый за волны.

Энергия ЭМВ падает квадратично с расстоянием, поэтому при космических расстояниях не может быть и речи о восприятии света звёзд. Энергия же фотонов не меняется с расстоянием в чистом вакууме, что и обеспечивает межгалактические связи.

Фотоны с поперечным размером, на порядки превышающим размер атома, не могут вызвать фотоэффект; длина волны определяется продольной длиной (вдоль луча) фотона, а не его поперечным размером.

Нижней границей  $\gamma$ -квантов и верхней для рентгеновских  $x$ -квантов следует считать энергию электрона 0.511 МэВ (таковые имеются во множестве изотопов) потому, что это эталонная наименьшая величина. Итак, излучение с энергией более 0.511 МэВ можно отнести к категории фотонов - квантов, поскольку их пара может при фоторождении воспроизвести пару электрон-позитрон. С меньшей уверенностью к фотонам отнесём рентгеновские  $x$ -кванты с нижней границей  $0.5E_0\alpha' = 3.73$  кэВ ( $\lambda = 4.4$  нм), хотя условие равенства размера фотона комптоновской длине ещё сохраняется. Фотоны как корпускулы есть те, что образуются при аннигиляции частиц с наименьшей массой, электрон и позитрон. С меньшей энергией - как излучение атомов.

Скачки электронов в искажённом атоме вакуума есть возмущения в форме импульсов. Именно они и распространяются по вакууму. Это также вид преобразования энергии. Отсюда, в частности, следует, что свет есть распространяющееся возбуждение вакуума по сильному полю, генерируемое сильными полями атома; как известно, лучи света не отклоняются ЭП и МП.

Свет, излученный атомом, поляризован. Фотоны локализованы в пространстве, распространяются в вакууме прямолинейно и обладают постоянной скоростью, что делает их подобными потоку частиц.

#### **Электромагнитные волны**

Только электрон и протон есть естественные источники ЭП и МП, а преобразований ЭП в МП и обратно нет. Следовательно, ЭМВ не существуют. Если проводник подключён к источнику, создающему переменную напряжённость ЭП, то реакцией будет соответствующее ей МП, возникающее не преобразованием ЭП, а поворотами ММ электронов, как реакцией на поляризацию. Шкала ЭМВ есть фикция. Существующие представления об ЭМВ исключают не только их перемещение в пространстве, но и саму возможность их существования. Синфазность электрической и магнитной компонент в ЭМВ противоречит основным законам природы. Синфазная ЭМВ в вакууме не может быть бегущей. В «абсолютной пустоте» нет заряженных частиц, поэтому в идеальном вакууме не может ни «содержаться», ни «переноситься» электрическая энергия [18].

Энергия фотонов не меняется с расстоянием в чистом вакууме, что и обеспечивает межгалактические связи. ЭМВ не могут существовать в пустоте, поскольку волнами называют периодические изменения состояния материальных сред. ЭП и МП существуют там, где есть носитель. «Единой» сущности, названной электромагнитным полем, в природе не существует.

Действительно, в отсутствие каких-либо масс, зарядов и токов силовое поле не возникнет. При этом фотон приобретает смысл волнового пакета солитонов.

По А. Эйнштейну, поле не вид материи, а её свойство, «ибо поле не обладает совокупностью свойств, присущих материи, а является средством взаимодействия материальных систем» [19]. В частности, силовое поле понимается как напряжённое состояние эфира [20]. Опыты доказывали только то, что возникновение электромагнитных колебаний в вибраторе Герца приводило к возникновению аналогичных колебаний в резонаторе (детекторе).

**Версия автора.** В решёточном вакууме установлено наличие этих полей в присутствии зарядов. Следовательно, распространение полей возможно только при условии, что реакцией ячеек вакуума будет проявление таковых компонент СП, что есть частичная распаковка ячеек, на что и затрачивается энергия. Поэтому интенсивность статических полей быстро убывает по мере удаления от источника.

ников полей, и передача на большие расстояния невозможна. В действительности, уже вблизи от антенны излучателя ЭП и МП затухают, а передача сигналов осуществляется последовательным обратимым возбуждением ячеек по СП. В приёмной же антенне процесс идёт в обратную сторону. ЭМВ не самофокусируются, на больших расстояниях их интенсивность ничтожна. Только импульсы СП обладает этими свойствами, они то и служат переносчиками сигналов. Более того, это есть условие для дифракции лучей на препятствиях. Мы привыкли описывать явления дифракции, наблюдаемые в случае со щелью и экраном, рассматривая вместе с Френелем точки эфира в щели как множество центров волнообразования. Это противоречит уравнению запаздывающих потенциалов. Единственные места зарождения волн это электрические заряды. Его баллистика может трактоваться как серия импульсов СП [21].

**Версия автора.** Используя преобразования Фурье можно представить импульсы суммой гармонических колебаний. ЭП не преобразуемо в МП; свет не реагирует на ЭП и МП; нет вихревого ЭП. Если в замкнутом контуре подаётся изменяющееся МП, то поляризация поворачивает электроны, и их ЭП образуют электроны. Энергия ЭМВ падает квадратично с расстоянием, поэтому при космических расстояниях не может быть и речи о восприятии света звёзд. Энергия же фотонов не меняется с расстоянием в чистом вакууме, что и обеспечивает межгалактические связи. Шкала ЭМВ это фикция.

#### **Полевая линза и Поверхностное поле.**

Поверхностная энергия — термодинамическая функция, характеризующей энергию межмолекулярного взаимодействия частиц на поверхности раздела фаз с частицами каждой из контактирующих фаз. Это потенциальная энергия, на границе раздела фаз. Является избыточной по сравнению с энергией в объёме, то есть не равной нулю, что и питает полевые линзы.

#### **Версия автора. Полевая линза**

В обычной линзе проходящий луч меняет направление только на входе и выходе. Не стекло линзы изменяет направление луча света, а изменение свойств среды (вакуума). Вещество это участок пространства с искажённым вакуумом, поэтому на его границе образуется переходная зона с поверхностным сильным полем. Только оно изменяет направление луча света на крае предмета. Поэтому при дифракции света на щели угол отклонения луча наибольший у края щели и нулевой в центре, где отклонения с двух сторон уравновешены. Щель эквивалентна рассеивающей линзе.

**Резюме.** 1. Свет это не электромагнитное излучение. 2. Свет не волновое явление, а поток импульсов. 3. Нет дифракции, есть преобразование полевой линзой. Предсказываю: управление направлением лучей сильными полями; генерация лучей влиянием на свойства материалов излучателя. Это новая, не электромагнитная энергетика, и не ядерная, а именно атомная. В интерференции на двух щелях наблюдается простое сложение лучей.

В уравнения заранее закладывают частоты излучения и длины волн. Кажущийся дуализм свойств света состоит в том, что обычное преломление линзой, хотя и виртуальной, полевой, принимают за волновую дифракцию. Фотоэффект потому имеет место, что действительный поперечный размер луча соразмерим с размером атома.

В этой книге я доказываю, что энергия электрона на 99% состоит из энергии сильного взаимодействия. Добавьте сюда энергию ядра, это и есть поле атомных взаимодействий. Внешняя энергия и формирует импульсы света.

Повторю, что уравнения Максвелла к свету не относятся, поскольку свет не относится к электромагнитным излучениям. Если бы было иначе, можно было бы управлять ими, манипулируя полями  $E$  и  $H$ . Эти уравнения оперируют токами и полями  $E$  и  $H$ , в то время как эти поля считаю компонентами сильного, фундаментального поля. Токи проводимости это вымышленные параметры, удобные для практических целей. По счастью, в большинстве случаев, передаваемая электромагнитная энергия пропорциональна этим токам. К фотонам, как частицам, уверенно можно отнести только те, что имеют энергию равную или превышающую энергию электрона (это наименьшая по энергии элементарная частица). Остальным ещё нужно подобрать название, но это не электромагнитное волны, что следует из опыта. Считая излучение лазера импульсным, а не волновым, понятие длины волны теряет смысл. В таких случаях говорят о периоде следования импульсов в Фурье-спектре. Суть попытки состоит в объяснении явлений через одно сильное поле, принимая все прочие его компонентами. Тогда энергия становится векторной, а заряды - комплексными. Свет в вакууме тогда это распространение такого возмущения, а не электромагнитного. Следует доказать, что и микроволновое той же природы. Как это ни странно, пока никто ещё не доказал, что известная шкала состоит из электромагнитных излучений.

#### **Библиография**

1. Блохинцев Д.И.. Философские вопросы современной физики. Изд. АН СССР, М., 1952, с.393.
2. Юкава и Гейзенберг. Женевская международная конференция, 1956 г.
3. Вопросы советской науки. Над. АН СССР, М., 1957, стр. 6.
4. Ландау Л.Д. Природа, 10. 1958,с.21,. Вопросы философии", 12, 1959, стр. 155
5. Манеев А.К. К критике теории относительности.1960
6. Лебедев Т. А. В книгеМанеева "К критике теории относительности", 1960.
7. Саврухин А.П. ПРИРОДА СВЕТА И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА. Монография. М.: Изд-во "Спутник +" 2014 г. С. 78. На сайте savrukhin.ru
8. Саврухин А. П. Природа элементарных частиц и золотое сечение: Монография /А. П. Саврухин. — М.: Издательство М. — 2004, —204 С. <http://savrukhin.narod.ru/links.html>

9. Саврухин А.П. Физические основы электрических явлений.  
<http://www.msfu.ru/journal/index.php?lang=ru&stat=105>
10. Эйнштейн А. "Эфир и теория относительности". Собрание научных трудов. М.: Наука. 1965. Т. 1. С. 689.
11. Эйнштейн А. "Об эфире". 1924 г. Собрание научных трудов. М.: Наука. 1966. Т. 2. С. 160.
12. Кораблев Д. Ю. Физический вакуум.  
[http://samlib.ru/k/korablewd\\_j/vacuum.shtml](http://samlib.ru/k/korablewd_j/vacuum.shtml)
13. Горбачевич Ф. Ф. Основы теории непустого эфира (вакуума).
14. Теория динамической решетки эфира.  
<http://zaryad.com/forum/threads/teorija-dinamicheskoj-reshetki-ehfira.8906/page-2>.
15. Блохинцев Д.И. "Философские вопросы современной физики" — М.:Изд. АН СССР —1952 — С.393.
16. Канн К.Б. Вихревое электрическое поле.  
<http://electrodynamics.narod.ru/eddy-electric-field.html>
17. Эткин В. Существует ли вихревое электрическое поле? [http://etkin.iri-as.org/npravlen/09elektr/vortex\\_electric\\_field.pdf](http://etkin.iri-as.org/npravlen/09elektr/vortex_electric_field.pdf)
18. Канн К. Б. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. <http://www.micro-world.su/files/4046.doc>
19. Мигдал А.Б. Квантовая физика для больших и маленьких. — М.: Наука, 1989.- 144 с.
20. Эткин В.А. О неэлектромагнитной природе света. // Доклады независимых авторов. 2013. — Вып. 24. С. 160...187.
21. Ритц В. Критический анализ общей электродинамики.<http://ritz-btr.narod.ru/index.html#III>

#12 (28), 2017 część 2  
**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Warszawa, Polska)  
**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

### **Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

### **Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

#12 (28), 2017 part 2  
**East European Scientific Journal**  
(Warsaw, Poland)  
**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

### **Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

### **The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

<http://eesa-journal.com/>

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw,  
Poland

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

<http://eesa-journal.com>