

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭТАПАХ НИОКР ПРИ СОЗДАНИИ ПРОИЗВОДСТВ ЯТЦ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. А.С. Никулин, Е.А. Шиверский, Ю.В. Михайлова, Р.Д. Стрелкова (Частное учреждение «ИТЦП «ПРОРЫВ», г. Москва; АО «НИКИЭТ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 4-11.**

*Статья содержит обзор результатов опытно-конструкторской работы по вероятностному анализу отказов оборудования создаваемого объекта по обращению с радиоактивными отходами и нацелена на формирование обязательных требований к оценке надежности оборудования, начиная с ранних стадий разработки, и к накоплению статистических данных при макетировании и испытании опытных образцов изделий (рис. – 1, табл. – 2, список литературы – 2 назв.).*

Ключевые слова: надежность в технике; прогнозирование надежности; вероятностный анализ отказов; анализ значимости; анализ чувствительности; параметр потока отказов; показатели надежности; оборудование ЯТЦ; выпарная установка.

**PREDICTION OF THE EQUIPMENT RELIABILITY AT THE STAGES OF R&D WORKWHILE DESIGNING A NEW GENERATION OF NUCLEAR FACILITIES. A.S. Nikulin, Dr. E.A. Shiverskiy, J.V. Mikhailova, R.D. Strelkova (Institution «Innovation and Technology Center by «PRORYV» Project», State Atomic Energy Corporation «Rosatom», Moscow; JSC «NIKIET», Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 4-11.**

*The paper gives a survey of design and development work results concerning the probabilistic analysis of the equipment failures of the radioactive waste handling facility under construction. The aim of the paper is to specify the mandatory requirements for assessing the equipment reliability beginning with the equipment design up to the stage of accumulating data while prototyping and testing a development model (fig. – 1, tables – 2, references – 2).*

Keywords: reliability of techniques; prediction of reliability; probability failure analysis; аenmm significance analysis; sensitivity analysis; a number of failures; reliability parameters; nuclear fuel cycle equipment; evaporation unit.

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ЦИРКОНИЕМ НА МИКРОСТРУКТУРУ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Nb<sub>3</sub>Sn СВЕРХПРОВОДНИКОВ. И.М. Абдюханов, А.С. Цаплева, Н.В. Коновалова, П.А. Лукьянов, И.И. Савельев, М.В. Алексеев, Д.С. Новосилова (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 12-21.**

*В работе исследовано влияние циркония на микроструктуру и электрофизические свойства сверхпроводников, изготовленных трубным методом. Показано, что введение циркония позволяет уменьшить область крупных зерен, увеличить толщину мелкозеренной области, но практически не влияет на средний размер зерна в мелкозеренной области сверхпроводящего Nb<sub>3</sub>Sn слоя. Проведён анализ электрофизических свойств сверхпроводников, легированных и не легированных цирконием. Показано, что критическая температура и величина силы пиннинга сверхпроводника, легированного цирконием, выше, чем у сверхпроводника, где используется нелегированный ниобий. Установлено, что в сверхпроводнике, легированном цирконием, реализуется два механизма пиннинга флюксоидов: закрепление флюксоидов на границах зерен и на частицах ZrO<sub>2</sub> (рис. – 7, табл. – 5, список литературы – 13 назв.).*

Ключевые слова: Nb<sub>3</sub>Sn, легирование, термическая обработка, Nb-1мас.%Zr.

**INFLUENCE OF ZIRCONIUM DOPING ON MICROSTRUCTURE OF THE SUPERCONDUCTING LAYER AND ELECTRO-PHYSICAL PROPERTIES OF Nb<sub>3</sub>Sn SUPERCONDUCTORS. I.M. Abdyukhanov, A.S. Tsapleva., N.V. Konovalova, P.A. Lukyanov I.I. Savelyev, M.V. Alekseev, D.S. Novosilova (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 12-21.**

*The effect of zirconium doping on microstructure and electro-physical properties of superconductors fabricated by a tube method is investigated. It has been shown that the introduction of zirconium allows to reduce the region of large grains, to increase the thickness of the fine-grained region, but practically does not affect the average grain size in the fine-grained region of the superconducting Nb<sub>3</sub>Sn layer. The electro-physical properties of superconductors based on pure niobium and niobium doped with zirconium are analyzed. It is shown that the critical temperature and pinning force of a zirconium-doped superconductor are higher than that of a superconductor based on pure niobium. It is shown that a two-component pinning mechanism is realized in a zirconium-doped superconductor: pinning at grain boundaries and pinning on ZrO<sub>2</sub> particles (fig. – 7, tables – 5, references – 13).*

Keywords: Nb<sub>3</sub>Sn, doping, heat treatment, Nb-1wt.% Zr.

**К МЕТОДИКЕ РАСЧЁТА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ КАЛИБРОВ И ОПРАВКИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zr-Nb. М.И. Гозман, К.В. Ожмегов, Н.А. Матюшкин (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 22-38.**

*В статье предлагается новая методика расчёта оптимальных конфигураций калибров и оправки при холодной прокатке оболочек твэлов из сплава Zr-Nb. Принцип расчётов основан на частичном аналитическом решении задачи теории пластичности для трубы в зоне обжатия. Такая модель отличается быстродействием и в то же время позволяет выйти за рамки приближений, которые ограничивают область применимости других аналитических и полуаналитических моделей. Наш подход проиллюстрирован на примере прокатки осесимметричной трубы (рис. – 7, табл. – 0, список литературы – 30 назв.).*

Ключевые слова: оболочки твэлов, холодная прокатка труб, калибровка, математическая модель.

**TO THE CALCULATION METHOD OF THE OPTIMAL CONFIGURATION OF CALIBERS AND MANDREL FOR THE COLD PILGERING OF FUEL CLADDING PRODUCED OF Zr-Nb ALLOY SYSTEM. M.I. Gozman, K.V. Ozhmegov, N.A. Matyushkin (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 22-38.**

*In this article a new method to calculate the optimal configuration of calibers and mandrel for the cold pilgering of fuel cladding produced of Zr-Nb alloys is proposed. The principle of calculations is based on a partial analytical solution of a problem of plasticity theory for a tube in the compression zone. Such a model is fast-acting and, besides, it allows to avoid the approximations that limit the applicability of other analytical and semi-analytical models. Our approach is illustrated following the example of an axially symmetric tube pilgering (fig. – 7, tables – 0, references – 30).*

Keywords: fuel cladding, cold pilgering of tubes, calibration, mathematical model.

**ПОЛУЧЕНИЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИОБИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА Nb<sub>3</sub>Sn СВЕРХПРОВОДНИКОВ В РАМКАХ ПРОЕКТА FCC. М.В. Кравцова, В.А. Дробышев, М.М. Потапенко, И.М. Абдюханов, Г.Б. Филатов, А.В. Михалев, А.С. Цаплева, К.А. Мареев, М.В. Алексеев (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 39-48.**

*В работе представлены результаты исследований по получению сплавов ниобия с танталом для изготовления сверхпроводников. Приведены результаты исследования химического состава и твердости полученных сплавов. Установлено, что сплавы, полученные однократным вакуумным дуговым переплавом, обладают высокой однородностью, разброс по содержанию тантала по высоте составил 0,1-0,2 мас.%. С использованием полуфабрикатов (листов и прутков) из разработанных сплавов получены Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводники, содержащие до 160 композиционных элементов (рис. – 8, табл. – 4, список литературы – 6 назв.).*

Ключевые слова: Nb<sub>3</sub>Sn, сплав, сверхпроводник, легирование, тантал, ниобий.

**DEVELOPMENT OF NIOBIUM-BASED ALLOYS FOR THE PRODUCTION OF Nb<sub>3</sub>SN SUPERCONDUCTORS IN THE FCC PROJECT. M.V. Kravtsova, V.A. Drobyshev, M.M. Potapenko, I.M. Abdyukhanov, G.B. Filatov, A.V. Michalev, A.S. Tsapleva, K.A. Mareev, M.V. Alekseev (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 39-48.**

*This work presents the results of the studies on the preparation of Nb-Ta alloys for the manufacture of superconductors. Alloys were prepared in various ways using the vacuum arc melting method. The results of the study of the chemical composition and hardness of the obtained alloys are presented. It was established that the alloys obtained by a single vacuum arc melting have high uniformity, the scatter in tantalum content in height was 0,1-0,2 wt.%. Using semi-finished products (sheets and rods), Nb<sub>3</sub>Sn superconductors containing up to 160 composite elements were obtained from the developed alloys (fig. – 8, tables – 4, references – 6).*

Keywords: Nb<sub>3</sub>Sn, alloy, superconductor, alloying, tantalum, niobium.

**ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА КАЛИБРОВКИ ДЕТЕКТОРОВ МНОЖЕСТВЕННОСТИ НЕЙТРОНОВ ПО ПЛУТОНИЕВЫМ ОБРАЗЦАМ. А.Ю. Горбунова, В.Ю. Рогожкин (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 49-55.**

*Описано применение способа калибровки детекторов множественности нейтронов по плутониевым образцам. Калибровочные измерения проведены с детекторами RENMC, AWCC (JCC-51) и JCC-31. Продемонстрирована работоспособность метода. Впервые наблюдался эффект уменьшения эффективности регистрации нейтронов с ростом массы образцов (рис. – 1, табл. – 5, список литературы – 5 назв.).*

Ключевые слова: детекторы нейтронов, калибровка, плутоний, эффективность регистрации, коэффициент отбора совпадений, множественность нейтронов.

**THE APPLICATION OF THE METHOD FOR THE CALIBRATION OF NEUTRON MULTIPLICITY DETECTORS USING PLUTONIUM STANDARDS. A. Gorbunova, V. Rogozhkin (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 49-55.**

*The application of the calibration technique using plutonium reference standards is described. RENMC, AWCC (JCC-51) and JCC-31 neutron coincidence detectors are involved. The technique used in this work is verified. The effect of decreasing the neutron registration efficiency due to the increasing plutonium mass was observed for the first time (fig. – 1, tables – 5, references – 5).*

Keywords: neutron detectors, calibration, plutonium, efficiency of registration, doubles gate fraction, neutron multiplicity.

**ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИОКСИДА УРАНА С БЕЗВОДНЫМ ФТОРОВОДОРОДОМ. <sup>1</sup>А.А. Быков, <sup>2</sup>О.Б. Громов, <sup>3</sup>С.О. Травин, <sup>2</sup>Д.В. Утробин (<sup>1</sup>НПО «Техномаш», <sup>2</sup>АО «ВНИИНМ», <sup>3</sup>ГНЦ ХФ РАН) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 57-65.**

*Проведены исследования кинетики реакции взаимодействия диоксида урана с безводным фтороводородом. Показано, что гидрофторирование  $UO_2$  проходит через два периода: кинетический и диффузионный. Определена энергия активации в кинетической фазе реагирования, равная 33,68 кДж/моль, величина которой не зависит от происхождения  $UO_2$ . Установлено влияние диффузионных процессов на полноту конверсии до  $UF_4$ . Получено уравнение для приближенного расчета скорости реакции в кинетическом периоде, которое может быть использовано для моделирования химико-технологических процессов (рис. – 6, табл. – 1, список литературы – 10 назв.).*

Ключевые слова: диоксид урана, фтороводород, кинетика, диффузионный период реакции, конверсия в тетрафторид урана, уравнение для моделирования.

**THE STUDY OF THE INTERACTION KINETICS BETWEEN URANIUM DIOXIDE AND ANHYDROUS HYDROGEN FLUORIDE. <sup>1</sup>A.A. Bykov, <sup>2</sup>O.B. Gromov, <sup>3</sup>S.O. Travin, <sup>2</sup>D.V. Utrobin (<sup>1</sup>SPA «Tekhnomash», <sup>2</sup>JSC «VNIINM», <sup>3</sup>SRC ChPh RAS) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 57-65.**

*The kinetics of the reaction between uranium dioxide and anhydrous hydrogen fluoride was studied. It is shown that  $UO_2$  hydrofluorination passes through two periods: kinetics and diffusion. The activation energy in the kinetics reaction phase was determined to be 33,68 kJ/mol, the value does not depend on the origin of  $UO_2$ . The influence of the diffusion processes on the completeness of conversion to  $UF_4$  was established. An equation is obtained for approximate calculation of the reaction rate in the kinetics period, which can be used for modeling chemical and technological processes (fig. – 6, tables – 1, references – 10).*

Keywords: uranium dioxide, hydrogen fluoride, kinetics, diffusion period, conversion to uranium tetrafluoride, equation for modeling.

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ВКЛЮЧЕНИЯ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ РАО В МАТРИЧНЫЙ МАТЕРИАЛ. Н.Д. Мусатов, В.А. Кашеев, А.И. Тучкова, Т.В. Смелова (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 66-75.**

*Проведен анализ методов увеличения степени включения отработавшего электролита, образующегося при пирохимической переработке ОЯТ в стеклоподобную борофосфатную матрицу. Для увеличения степени включения в стеклоподобную борофосфатную матрицу содержащихся в отработавшем электролите хлоридов изучен метод конверсии хлоридов в фосфаты без отгонки и предварительного осаждения хлор-иона. Методами дифференциально-термического и рентгенофазового анализов показана возможность протекания химической реакции конверсии хлорида лития с образованием фосфата лития и хлорида натрия. Гидролитическая устойчивость борофосфатной матрицы, содержащей до 10 мас. % конверсированного в фосфаты отработавшего электролита, соответствует требованиям, предъявляемым к величине скорости выщелачивания нуклидов из матричных материалов, содержащих РАО (рис. – 8, табл. – 0, список литературы – 5 назв.).*

Ключевые слова: ОЯТ, пирохимическая переработка, радиоактивные отходы, остекловывание, борофосфатное стекло, физико-химические свойства.

**ANALYSIS OF POSSIBLE METHODS FOR INCREASING THE DEGREE OF INCLUSION OF CHLORIDE-CONTAINING RAW IN THE MATRIX MATERIAL. V.A. Kascheev, N.D. Musatov, A.I. Tuchkova, T.V. Smelova (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 66-75.**

*The analysis and search of methods for increasing the value of inclusion of the spent electrolyte formed during the pyrochemical processing of spent nuclear fuel into a glass-like borophosphate matrix is carried out. To increase the degree of incorporation of the chlorides contained in the spent electrolyte into the glassy borophosphate matrix, the method of the conversion of chlorides to phosphates was studied without distillation and preliminary deposition of chlorine ion. Using the methods of differential thermal and x-ray phase analysis, the possibility of a chemical reaction of the conversion of lithium chloride with the formation of lithium phosphate and sodium chloride is shown. Hydrolytic stability of a borophosphate matrix containing up to 10 wt. % of spent electrolyte converted to phosphate meets the requirements for the rate of leaching of nuclides from matrix materials containing radioactive waste (fig. – 8, tables – 0, references – 5).*

Keywords: pyrochemical processing, radioactive waste, vitrification, borophosphate glass, physicochemical properties.

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИММОБИЛИЗАЦИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ БЕРИЛЛИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ.** <sup>1</sup>Д.А. Коробейников, <sup>1</sup>А.А. Семенов, <sup>2</sup>С.П. Заикин, <sup>2</sup>Н.В. Филимонова, <sup>1</sup>Н.И. Шипунов, <sup>1</sup>Д.М. Хватов, <sup>1</sup>С.Е. Сайфутдинова (<sup>1</sup>АО «ВНИИНМ», г. Москва; <sup>2</sup>ООО «Зика», Московская область) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 76-81.

*Обосновано применение цементобетонных смесей для связывания высокотоксичного бериллия при его захоронении. Выполнена оценка эффективности иммобилизации фторбериллата аммония в различных цементобетонных составах. Показаны преимущества модифицированных цементобетонных смесей в сравнении с традиционными (рис. – 4, табл. – 1, список литературы – 8 назв.).*

Ключевые слова: органосиликатная композиция, тяжелая авария, коррозионная защита, дебрис, контеймент, АЭС, ВВЭР, безопасность.

**CAPTURING OF WATER-SOLUBLE BERILLIUM RESIDUES BY MODIFIED CONCRETE: EVALUTAION OF RELIABILITY OF INCAPSULATION OF DANGEROUS WASTES.** <sup>1</sup>D.A. Korobeynikov, <sup>1</sup>A.A. Semenov, <sup>2</sup>S.P. Zaikin, <sup>2</sup>N.V. Filimonova, <sup>1</sup>N.I. Shipunov, <sup>1</sup>D.M. Khvatov, <sup>1</sup>S.E. Sayfutdinova (<sup>1</sup>Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow; <sup>2</sup>SIKA, Moscow Region) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 76-81.

*We justify the usage of concrete for encapsulating and burying of high toxic ammonium fluorberylate. The efficiency of different concrete mix designs is evaluated. Advantages of using modified concrete instead of traditional ones are shown (fig. – 4, tables – 1, references – 8).*

Keywords: beryllium, ammonium fluorberylate, immobilization, concrete, cement compound, water-soluble beryllium-contents wastes, fluidifier additives, polycarboxylates.



**ПОЛУЧЕНИЕ ТЕТРАХЛОРИДА ЦИРКОНИЯ ХЛОРИРОВАНИЕМ ЦИРКОНА И ОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ПРИСУТСТВИИ СЕРЫ.** <sup>1</sup>А.А. Цурика, <sup>2</sup>А.А. Семенов, <sup>3</sup>С.А. Ухов, <sup>2</sup>А.В. Лизунов, <sup>2</sup>А.М. Сафиулина, <sup>4</sup>С.И. Чекинов, <sup>4</sup>А.О. Селезнев (<sup>1</sup>ОАО «Соликамский магниевый завод», г. Соликамск; <sup>2</sup>АО «ВНИИНМ», г. Москва; <sup>3</sup>Калужский филиал ФГБОУ ВПО НИУ МГТУ им. Н.Э Баумана, г. Калуга; <sup>4</sup>ЗАО «ТЕХНОИНВЕСТ АЛЪЯНС», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 82-106.

*В статье рассмотрены варианты получения тетрахлорида циркония из различных сырьевых источников. Как перспективный вариант отечественного сырья рассмотрен цирконовый концентрат Зашихинского редкометалльного месторождения. Проведен термодинамический анализ различных вариантов синтеза тетрахлорида циркония в присутствии восстановителей на основе углерода и серы. Показаны преимущества от применения хлоридов серы при хлорировании цирконийсодержащего сырья. Выданы рекомендации для проведения синтеза тетрахлорида циркония (рис. – 1, табл. – 10, список литературы – 31 назв.).*

Ключевые слова: цирконий, тетрахлориды, хлорирование, углеродсодержащий восстановитель, углерод, сера, хлориды серы, Зашихинское редкометалльное месторождение, тиометаллургия.

**PRODUCTION OF ZIRCONIUM TETRACHLORIDE BY CLORINATION OF ZIRCON AND ZIRCONIUM OXIDE IN THE PRESENCE OF SULFUR.** <sup>1</sup>A.A. Tsurika, <sup>2</sup>A.A. Semenov, <sup>3</sup>S.A. Ukhov, <sup>2</sup>A.V. Lizunov, <sup>2</sup>A.M. Safiulina, <sup>4</sup>S.I. Chekinov, <sup>4</sup>A.O. Seleznev (<sup>1</sup>JSC «Solikamsk Magnesium Works», <sup>2</sup>Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC; <sup>3</sup>Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University; <sup>4</sup>CJSC «TECHNOINVEST ALLIANCE») – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 82-106.

*The article discusses methods for producing zirconium tetrachloride from various raw material sources. As a promising variant of domestic raw materials, zircon concentrate of the Zashikhinskoye rare-metals deposit is considered. A thermodynamic analysis of various schemes of zirconium tetrachloride synthesis in the presence of carbon- and sulfur-based reductants was carried out. The advantages of using sulfur chlorides as chlorinating agents for chlorination of zirconium-containing raw materials are shown. The guidance for the zirconium tetrachloride synthesis process has been issued (fig. – 1, tables – 10, references – 31).*

Keywords: zirconium, tetrachlorides, chlorination, carbon-containing reducing agent, carbon, sulfur, sulfur chlorides, Zashikhinskoye rare-metals deposit, thiometallurgy.

**«АНОМАЛЬНОЕ» ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ ОБЛУЧЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ И ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОВЕДЕНИЕ ТВЭЛОВ И ПЭЛОВ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ.** <sup>1</sup>И.И. Коновалов, <sup>1</sup>С.С. Гордеев, <sup>2</sup>Б.А. Тарасов (<sup>1</sup>ИПЯТ НИЯУ «МИФИ», г. Москва; <sup>2</sup>АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 108-115.

*Рассмотрена одна из основных проблем разработки физических кодов для материалов, генерирующих инертные осколочные атомы при облучении нейтронами, – их аномальное макроскопическое термическое расширение, связанное с наличием в них газовых пузырьков. Алгоритм решения основан на вычислении баланса инертных осколочных атомов в рамках диффузионного подхода: их количество, находящееся в пузырьках и в твердом растворе, а также их количество, вышедшее из материала под облучением. Показано, что аномальное термическое расширение является главным фактором, лимитирующим работоспособность поглощающих и тепловыделяющих элементов на стадии контакта сердечника с оболочкой при перегревах выше температур нормальной эксплуатации. Приведено сравнение расчета с экспериментом, а также дан прогноз по характеру разрушения оболочки в аварийных условиях (рис. – 5, табл. – 0, список литературы – 7 назв.).*

Ключевые слова: нитридное ядерное топливо, карбид бора, облучение, термическое расширение, авария.

**«ANOMALOUS» THERMAL EXPANSION OF IRRADIATED FUEL AND ABSORBING MATERIALS AND ITS INFLUENCE ON THE BEHAVIOR OF FUELS AND PELS IN EMERGENCY CONDITIONS.** <sup>1</sup>I.I. Konovalov, <sup>1</sup>S.S. Gordeev, <sup>2</sup>B.A. Tarasov (<sup>1</sup>IINT NRNU «MEPhI», Moscow; <sup>2</sup>Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 108-115.

*The abnormal microscopic thermal expansion due to gas bubbles is one of the main problems in physical codes development for the materials generating inert fission gas atoms under neutron irradiation. The algorithm of the codes is based on the balance calculation of inert fission atoms within diffusion approach: their quantity in the bubbles and in the solid solution and their quantity released from material under irradiation. It is shown that the abnormal thermal expansion is the main factor limiting operability of the absorbing and fuel elements at a stage of contact of the core with a cladding when temperature is higher than that at normal operation. A comparison of the calculation with the experiment is given and the forecast for the nature of cladding rupture is made (fig. – 5, tables – 0, references – 7).*

Keywords: nuclear nitride fuel, boron carbide, radiation, thermal expansion, accident.

## РАЗРАБОТКА ТОПЛИВА ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ И ПЛАВУЧИХ ЭНЕРГОБЛОКОВ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.

<sup>1</sup>Г.В. Кулаков, <sup>1</sup>А.В. Ватулин, <sup>1</sup>С.А. Ершов, <sup>1</sup>Ю.В. Коновалов, <sup>1</sup>А.В. Морозов, <sup>1</sup>А.М. Савченко, <sup>1</sup>В.И. Сорокин, <sup>2</sup>А.И. Романов, <sup>2</sup>О.А. Морозов, <sup>3</sup>В.Ю. Шишин, <sup>3</sup>А.А. Шельдяков (<sup>1</sup>АО «ВНИИНМ», г. Москва; <sup>2</sup>АО «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И.И. Африкантова», г. Нижний Новгород; <sup>3</sup>АО «ГНЦ – НИИАР», г. Димитровград) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 116-128.

*Развитие плавучих энергоблоков (ПЭБ) и атомных станций малой мощности (АСММ) является одним из приоритетных направлений деятельности Росатома. Актуальность разработки ПЭБ и АСММ определяется экономической целесообразностью и перспективами их использования в труднодоступных районах. Плавучий энергоблок – это автономный энергетический объект, который создается на судостроительном заводе и затем буксируется морским или речным путем к месту эксплуатации. Атомную станцию малой мощности предполагается использовать в качестве перспективного энергоисточника для регионов с децентрализованным электроснабжением.*

*Для активных зон ПЭБ и АСММ в АО «ВНИИНМ» были разработаны новые твэлы с топливной композицией «диоксид урана + алюминиевый сплав».*

*Для практического подтверждения референтности разработки изготовлен и доставлен для эксплуатации в г. Певек головной ПЭБ «Академик Ломоносов», снабженный разработанной АО «ОКБМ Африкантов» реакторной установкой КЛТ-40С. В 2019 году планируется ввод плавучей атомной теплоэлектростанции в эксплуатацию.*

*В активной зоне ПЭБ «Академик Ломоносов» использованы твэлы с оболочкой из циркониевого сплава ЭП10. При повышенных ресурсных характеристиках может проявляться склонность этого сплава к нодулярной (язвенной) коррозии, что может ограничивать работоспособность оболочек из этого сплава. В связи с этим предполагается в перспективных активных зонах АСММ использовать твэлы с оболочками из хромоникелевого сплава 42ХНМ.*

*В реакторе МИР были проведены реакторные испытания укороченных твэлов и полномасштабной ТВС до выгорания 153 МВтсут/кг U ( $1 \text{ г/см}^3$ ).*

*В АО «ГНЦ НИИАР» были проведены послереакторные материаловедческие исследования, показавшие высокую работоспособность твэлов с топливной композицией «диоксид урана + алюминиевый сплав» и оболочками из сплава 42ХНМ (рис. – 9, табл. – 2, список литературы – 11 назв.).*

Ключевые слова: плавучий энергоблок, атомная станция малой мощности, тепловыделяющий элемент, сплав 42ХНМ, реакторные испытания, послереакторные исследования.

**DEVELOPMENT OF FUEL FOR LOW POWER REACTORS AND FLOATING POWER UNITS. STATUS AND PROSPECTS.** <sup>1</sup>G.V. Kulakov, <sup>1</sup>A.V. Vatulin, <sup>1</sup>S.A. Ershov, <sup>1</sup>Y.V. Konovalov, <sup>1</sup>A.V. Morozov, <sup>1</sup>A.M. Savchenko, <sup>1</sup>V.I. Sorokin, <sup>2</sup>A.I. Romanov, <sup>2</sup>O.A. Morozov, <sup>3</sup>V.Y. Shishin, <sup>3</sup>A.A. Sheldyakov (<sup>1</sup>Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow; <sup>2</sup>SC «Afrikantov OKB Mechanical Engineering», Nizhny Novgorod; <sup>3</sup>SC «State Scientific Center of Russian Federation – Research Institute of Atomic Reactors», Dimitrovgrad) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 116-128.

*The development of Low Power Reactors (LPR) and Floating Power Units (FPU) is one of the Rosatom's priority areas of activities. It is a prospective project for installations in remote regions which are difficult of access not only in Russia (North regions, Siberia, Far East) but in other parts of the world as well. FPU is an autonomous power facility, which is end-manufactured at the shipbuilding yard as a non-self-propelled vessel transported by sea or river to the operation site. Low Power Reactor could be used as a prospective source of energy for regions with decentralized power supply.*

*SC «VNIINM» has developed novel dispersion rod element on the base of «UO<sub>2</sub> + aluminium alloy» for LPR and FPU cores. In order to demonstrate this technology in practice, a pilot FPU «Academician Lomonosov» with KLT-40S reactor plant (core has been developed by SC «OKBM Afrikantov») has been constructed and delivered to Peveck to supply heat and electricity.*

*In the core of the FPU «Academician Lomonosov», fuel rods with an E110 zirconium alloy claddings were used. With increased resource characteristics, the tendency of this alloy to nodular corrosion may limit the efficiency of the claddings of this alloy. In this regard, it is proposed to use fuel elements with claddings of 42KhNM chromium-nickel alloy in promising LPR cores.*

*In-pile tests have been performed in the loops of the MIR reactor (SC «RIAR», Dimitrovgrad) with burn up to 153 MW.d/kg U. The post-irradiation examinations of fuel elements with claddings of 42KhNM alloy and «UO<sub>2</sub> + aluminium alloy» fuel were carried out in SC «RIAR» and showed promising application in low power reactors (fig. – 9, tables – 2, references – 11).*

**Keywords:** Floating Power Unit, Low Power Reactor, fuel element, 42KhNM chromium-nickel alloy, in-pile tests, post-irradiation examinations.

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВНУТРИРЕАКТОРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ТРУБ ИЗ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э-635. А.В. Никулина, М.М. Перегуд (АО «ВНИИНМ», г. Москва) – ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. СЕР. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. 2020. ВЫП. 1(102). С. 129-136.**

*Проведен анализ результатов изучения влияния температуры и нейтронного облучения на ползучесть труб из циркониевого сплава Э635.*

*Выявлена слабая зависимость скорости ползучести труб от температуры облучения в диапазоне 315-340 °С и от степени их рекристаллизации.*

*Деформация ползучести труб в изученном температурном интервале находится в большей зависимости от температуры облучения, что коррелирует со структурными изменениями, происходящими в сплаве под облучением (рис. – 5, табл. – 1, список литературы – 12 назв.).*

Ключевые слова: циркониевые трубы, сплав Э635, ползучесть, температура, нейтронное облучение.

**THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE IN-CORE CREEP OF THE TUBES MADE OF E-635 ZIRCONIUM ALLOY. A.V. Nikulina, M.M. Peregud (Bochvar Inorganic Materials Research Institute JSC, Moscow) – PAST «MATERIALS TECHNOLOGY AND NEW MATERIALS» SERIES. 2020. ED. 1(102). P. 129-136.**

*The results of studying the influence of temperature and neutron irradiation on the creep of E635 zirconium alloy tubes are analyzed.*

*A small dependence of the tube creep was revealed both on the irradiation temperature within the range of 315-340 °C and on the degree of their recrystallization.*

*A creep strain of the tubes in the temperature range studied is highly dependent on the irradiation temperature and correlates with structural changes occurring in the alloy under irradiation (fig. – 5, tables – 1, references – 12).*

Keywords: zirconium tubes, Э635 alloy, creep, temperature, neutron irradiation.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ**

В Издательство представляется рукопись на электронном носителе (дискета, CD, flash) или по электронной почте. Рукописные вставки не допускаются.

При использовании текстового редактора Word следует придерживаться следующих правил.

1. **Текст** должен быть расположен на листе формата А4 по ширине страницы с учетом полей (левое, правое, нижнее – 2,5 см, верхнее – 2,0 см), набран шрифтом Times New Roman (Сур), кегель – 12, межстрочный интервал 1,2. Абзацные отступы должны быть одинаковыми по всему тексту – 1 см (не допускается создание абзацной строки с помощью пробелов или клавиши «Табуляция»). Кавычки (« »), скобки ([ ], ( )), маркеры и другие знаки должны быть сохранены аналогичными на протяжении всего предоставляемого материала.

2. **Заголовки и подзаголовки** оформляются в едином стиле по всей работе и отделяются от основного текста 1 интервалом и располагаются по центру строки. Заголовки (наименования разделов) записывают прописными буквами, подзаголовки (наименования подразделов) – строчными. Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Название статьи приводится на русском и английском языках.

3. **Фамилии авторов и место работы** указываются на русском и английском языках после названия статьи. Также необходимо указать e-mail для связи с авторами.

4. **Аннотации** набирают на 1 кегель меньше, курсивом с отступом 3 см, после заголовка. Аннотация приводится на русском и английских языках.

5. **Ключевые слова** указываются после аннотации на русском и английском языках набранные шрифтом Times New Roman (Сур), кегель – 11.

6. **Формулы**, даже состоящие из единственного символа, набираются только с использованием редактора формул Equation Editor или MathType. Категорически не допускается замена латинских и греческих букв сходными по начертанию русскими, а также знака суммы заглавной буквой сигма. Если необходимо использовать в формулах русские буквы, то их следует набирать в текстовом стиле.

7. **Нумерация страниц** обязательна. Посередине страницы, кегель 11 пт.

8. **Список литературы** любого источника осуществляется на языке его издания, помещается в конце рукописи в порядке упоминания в тексте. В списке приводятся только источники, на которые автор ссылается в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Внутри текста ссылки на список приводятся в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ, кегель 11, курсив.

9. **Переносы** и принудительные (ручные) не ставить.

10. **Рисунки, графики, схемы** должны выполняться в графических редакторах, поддерживающих векторную графику. Желательно предоставлять все рисунки в виде отдельных файлов в исходном графическом формате. Графические иллюстрации должны так же быть выполнены и в виде отдельных файлов в исходном графическом формате. Оригиналы отсканированных изображений должны предоставляться высокого качества (не менее 300 dpi). Все рисунки должны быть пронумерованы и иметь подрисовочные подписи (11 кегель, курсив, посередине листа, точка в конце не ставится).

11. **Таблицы** следует делать в режиме таблиц (добавить таблицу), а не рисовать от руки, не разрывать, если таблица большая, ее необходимо поместить на отдельной странице. Кегель 11. Слово «Таблица» расположить в правом верхнем углу, а название таблиц по центру (не жирный и не курсив, 12 кегель). Каждая таблица располагается после ссылки на нее (Напр.: табл. 1) и должна иметь нумерационный и тематический заголовок. Ширина таблицы не должна быть больше полосы набора текста. Ссылка на рисунки и таблицы в тексте обязательны. Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются. **Иллюстрации и таблицы** не должны разрывать предложение, их нужно располагать после абзаца.

## **Порядок представления и опубликования рукописей в научно-техническом журнале «Вопросы атомной науки и техники. Серия Материаловедение и новые материалы» (ВАНТ)**

1. Публикация научно-технических статей в журнале ВАНТ бесплатна. Информационный обмен и общение между авторами и редакцией происходит посредством электронной почты – MVPozdeev@bochvar.ru.
2. Тексты статей оформляются в соответствии с «ТРЕБОВАНИЯМИ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ». Рукописи, разрешения на открытое опубликование и сопроводительные письма направляются на адрес электронной почты MVPozdeev@bochvar.ru.
3. Статьи, не соответствующие требованиям к оформлению, направляются авторам на доработку. Тексты, соответствующие требованиям, отправляются на рецензирование в соответствии с «ПОРЯДКОМ РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ ВАНТ СЕРИЯ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ».
4. В случае отрицательного заключения рецензента, авторам по электронной почте направляется мотивированный отказ. В случае положительного заключения рецензента, автору по электронной почте направляется подтверждение о приеме рукописи к публикации.
5. После принятия рукописи к публикации, авторы должны оформить, подписать и прислать в редакцию в бумажном варианте «ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОГОВОР С АВТОРАМИ СТАТЕЙ, РАЗМЕЩАЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ ВАНТ».
6. После получения редакцией договора статья направляется в верстку.
7. После опубликования статьи каждому автору бесплатно направляется экземпляр журнала.

### **Об Издательстве**

Выпуски научно-технического журнала «Вопросы атомной науки и техники» (ВАНТ). Серия «Материаловедение и новые материалы», посвященные проблемам атомного материаловедения, издаются в АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара».

Журнал ВАНТ издается с 1972 года. Серия «Материаловедение и новые материалы» издается с 1989 г. по настоящее время тиражом не менее 250 экземпляров.

В журнале ВАНТ Серия «Материаловедение и новые материалы» представлены результаты исследований по физическому материаловедению, радиационной повреждаемости, активации и трансмутации материалов, физике радиационных явлений, механизмам формирования исходной и радиационной микроструктуры, теории, моделированию и экспериментальным исследованиям дефектов, структуры и свойств материалов. Выпуски журнала, помимо статей сотрудников института и ведущих специалистов отрасли, включают материалы на основе докладов, которые были представлены на конференциях «Материалы ядерной техники» (МАЯТ) в разные годы.

Кроме того, в журнале ВАНТ раскрываются актуальные проблемы, связанные с изменением приоритетов в оборонных задачах, разработкой новых технологий, включающих структурирование материалов наночастицами, вопросы разработки новых сплавов, особых видов термообработки и т.п.

На журнал ВАНТ. Серия «Материаловедение и новые материалы» можно подписаться в информагентстве «Пресса России», подписной индекс 41288 и в агентстве «Урал-Пресс», подписной индекс ВН005557.

Адрес издательства: 123098, г. Москва, а/я 369, ул. Рогова, д. 5а.

Контактное лицо: Ученый секретарь АО «ВНИИИМ» – Поздеев Михаил Васильевич, тел. +7 (499) 190-89-99 доб. 82-59, адрес электронной почты MVPozdeev@bochvar.ru.

Сдано в набор 03.03.2020 г. Подписано в печать 24.03.2020 г.  
Печ. л. 16,0. Уч.-изд. л. 8,3. Формат 60×90/8  
Компьютерный набор, вёрстка – Махмутова М.Р.

Отдел полиграфии ВНИИНМ. Тел. 8(495) 190-89-99 доб. 84-79. Тираж 200 экз. Заказ №57.  
Цена договорная.

Отпечатано в АО «ВНИИНМ». 123098, Москва, а/я 369.