

Никель-водородные реакторы, созданные после публикации отчета об эксперименте в Лугано

А.Г. Пархомов *

Аннотация—Дан обзор некоторых из никель-водородных реакторов, созданных в России и за рубежом после публикации отчета об эксперименте в Лугано. Зарегистрировано превышение тепловыделения над потребленной электроэнергией в пределах от 1,2 до 2,7 при температуре около 1200 °С. Продолжительность непрерывной работы с избыточным тепловыделением до 3 суток. Четыре реактора для оценки тепловыделения имели специальные калориметры.

Во время испытания высокотемпературного теплогенератора Росси в Лугано, продолжавшегося с 24 февраля до 29 марта 2014 г., зарегистрировано превышение тепловыделения над потребленной электроэнергией в 3,2 раза при температуре 1260 °С и в 3,6 раза при температуре 1400 °С [1], [2]. В отработавшем топливе существенно возросло относительное содержание ${}^6\text{Li}$ и снизилось содержание ${}^7\text{Li}$. Снизилось содержание всех изотопов никеля, кроме ${}^{62}\text{Ni}$. Содержание этого изотопа возросло с 3,6% до 99%. Заметного отличия радиационной обстановки от фоновых показателей не обнаружено.

На основе отчета экспертов, наблюдавших работу реактора, можно предположить, что этот реактор, по сути, запечатанная жаростойким цементом керамическая трубочка, в которой находится порошок никеля с добавкой алюмогидрида лития LiAlH_4 . Для инициации процесса трубочку необходимо нагреть до температуры 1200 – 1400 °С. Исходя из этого предположения, было создано несколько устройств в России и за ее пределами. Краткому описанию некоторых из них посвящена эта статья.

I. РЕАКТОРЫ АП1

Реакторы АП1 – первые устройства, подобные высокотемпературному теплогенератору Росси, в которых было получено избыточное тепловыделение в декабре 2014 г. [3]. Для изготовления реакторов использованы трубки из корундовой керамики длиной 120 мм, наружным диаметром 10 мм и внутренним диаметром 5 мм. На трубки навиты электронагреватели. Внутри трубок находится 1 г порошка $\text{Ni} + 10\%$ алюмогидрида лития. С наружной поверхностью трубок контактируют термодатчики. Концы трубок запечатаны жаростойким це-

ментом. Таким же цементом покрыта вся поверхность реакторов.

Для измерения выделяющегося тепла использована методика, основанная на количестве выкипающей воды. Реактор находился в закрытом металлическом сосуде. Этот сосуд погружен в воду. Количество выделяющейся теплоты определялось по массе воды, которая подливалась для сохранения ее неизменного уровня, и известной величине теплоты парообразования (2260 кДж/кг). Поправка на потерю тепла через теплоизоляцию рассчитывалась по скорости охлаждения после выключения реактора.

Помимо экспериментов с реакторами, загруженными смесью $\text{Ni} + \text{LiAlH}_4$, проведены опыты с макетами реактора без топлива. В случаях с макетами реактора, так же как и с реакторами с топливом при температуре ниже 1000 °С, отношение выделившейся тепловой энергии к поглощенной электроэнергии (COP) было близким к 1. Существенное превышение выделившейся тепловой энергии над поглощенной электроэнергией (до 2,7 раз) наблюдалось только у реакторов с топливом при температурах около 1100 °С и выше. Уровень ионизирующих излучений во время работы реактора заметно не превышал фоновые показатели. Плотность потока нейтронов была не выше 0,2 нейтр/см²·с.

Продолжительность работы реакторов серии АП1 в режиме выделения избыточной энергии не превышала 90 минут. Кратковременность работы реакторов связана с разрушениями, вызываемыми локальными перегревами и перегораниями нагревателей.

II. ПРОЕКТ DOG BONE

Одновременно с испытаниями реакторов АП1 шла работа в коллаборации Martin Fleischmann Memorial Project (MFMP) во главе с Робертом Гринье [4]. В одном из сделанных реакторов топливо (565 мг $\text{Ni} + 105$ мг LiAlH_4) находилось в герметичной корундовой трубке длиной 250 мм и внутренним диаметром 3,8 мм. Нагреватель из карбида кремния находился снаружи. Во время испытания этот реактор взорвался при температуре около 1050 °С. Причиной неудачи был слишком быстрый нагрев и избыточное содержание в топливе алюмогидрида лития.

* alexpar@mail.ru

III. ПРОЕКТ GLOWSTICK

После неудачи с проектом “Dog Bone” MFMP взял за основу реактор GlowStick, разработанный Аланом Голдуотером [5]. Реактор состоит из керамической трубки, на которой размещены два одинаковых соединенных последовательно электронагревателя. Один из них греет топливную смесь (Ni 300 мг + LiAlH_4 30 мг), а другой нагревает пустой участок трубки. При наличии избыточного тепловыделения температура части реактора с топливом должна быть больше температуры части без топлива.

Во время запусков первых двух реакторов GlowStick избыточное тепловыделение не было обнаружено. Третий реактор работал 28 - 30 мая 2015 г. При температуре на поверхности реактора больше 600°C (около 1000°C внутри ячеек) температура ячейки с топливом была существенно выше (до 80°C) температуры пустой ячейки. В таком режиме реактор проработал около 30 часов при средней избыточной мощности 160 Вт, выработав 4,8 кВт-час (17 МДж) избыточной энергии.

IV. РЕАКТОР АП2

Этот реактор работал 16-20 и 21-22 марта [6]. Трубка реактора имела внутренний диаметр 5 мм и наружный диаметр 10 мм. Длина трубки 29 см, причем нагревалась только центральная часть (7 см). Нагреватель выполнен из сплава X23Ю5Т (фехраль). Концы трубки закрыты герметиком на основе эпоксидной смолы. Топливная смесь (640 мг Ni + 60 мг LiAlH_4) находилась в контейнере из тонкой нержавеющей стали. Для вытеснения из трубки реактора лишнего воздуха в трубку вставлены керамические вкладыши. Манометр с пределом измерения 25 бар соединен с реактором тонкой трубкой из нержавеющей стали.

Электронагреватель подключен к электросети через тиристорный регулятор. Для измерения потребляемой электроэнергии использован электронный электросчетчик, позволяющий регистрировать компьютером информацию о потребляемой электроэнергии. Для контроля температуры реактора использована термопара хромель-алюмель, спай которой размещен на поверхности реакторной трубки в середине зоны нагрева. Сигнал с термопары использовался для регулировки подаваемой на электронагреватель мощности таким образом, чтобы поддерживалась заданная температура. Определение количества производимой теплоты было сделано на основе сопоставления параметров реактора, содержащего топливную смесь и реактора без топливной смеси.

Температура 1200°C на поверхности трубки реактора была достигнута за 12 часов в результате постепенного увеличения мощности электронагревателя до 630 Вт. После этого приблизительно за 1 час требующаяся для поддержания температуры 1200°C мощность снизилась до 330 Вт. На протяжении почти 3 суток мощность электронагревателя, при которой температура на поверхности трубки реактора была 1200°C , лежала в пре-

делах 300 - 400 Вт. Мощность тепловыделения превышала потребляемую электронагревателем, в среднем, в 2,4 раза. Работа реактора прервалась из-за перегорания нагревателя.

Давление внутри трубки при температуре около 180°C быстро возросло до 5 бар. При дальнейшем нагреве давление постепенно снижалось и при температуре больше 900°C стало меньше атмосферного.

При работе со вторым нагревателем температура 1200°C поддерживалась при мощности электронагрева от 500 до 700 Вт. Мощность тепловыделения превышала потребляемую электронагревателем в 1,3-1,7 раза.

Всего за 4 суток работы реактора сверх затраченной электроэнергии произведено более 40 кВт-час или 150 МДж.

V. ЭКСПЕРИМЕНТ БРАЙАНА АЛБИСТОНА (BRIAN ALBISTON)

Реактор сделан на основе корундовой трубки длиной 30 см, наружным диаметром 12,6 мм и внутренним диаметром 6,3 мм [7]. В центральной части находилось топливо (1,2 г никеля + 0,12 г алюмогидрида лития). Для нагрева использован промышленный нагреватель фирмы Watlow, питаемый из электросети через трансформатор. Избыточное тепловыделение удалось зарегистрировать 11-12 апреля 2015 г после трех неудачных попыток. В начале многочасового нагрева трубки с топливной смесью наружная температура превышала температуру топлива. Начиная с температуры 1000°C разрыв начал сокращаться, а затем температура скачкообразно возросла более чем на 100°C , превзойдя наружную. Потребляемая электронагревателем мощность снизилась. Это указывает на генерацию тепла внутри реактора. Такое состояние продолжалось около 10 часов, после чего началось снижение сигнала с центральной термопары, связанное, вероятно, с ее разрушением.

Давление в реакторной трубке при температуре около 200°C быстро возросло до 6 бар. В дальнейшем давление постепенно снизилось до 2 бар и сохранялось таким до конца эксперимента.

VI. ЭКСПЕРИМЕНТ ДЕНИСА ВАСИЛЕНКО

Эксперимент заключался в одновременном нагреве одинаковой мощностью двух реакторов, один из которых содержал смесь 500 мг порошка никеля с 50 мг алюмогидрида лития, а другой был пустой [8]. Для изготовления реакторов были использованы керамические трубки и втулки, жаростойкий цемент и нагреватель из провода “кантал”. Нагреватель питался от электросети с использованием тиристорного регулятора.

Работа реактора при температуре больше 1000°C продолжалась около 6 часов 24-26 мая 2015 г. и прекратилась в результате перегорания электронагревателя реактора с топливом. Сильное разрушение цемента в

центральной части трубки с топливом и перегорание канталовой спирали указывают на значительное превышение тепловыделения по сравнению с пустым реактором, где спираль осталась целой и цемент хорошо сохранился, хотя материал, размеры трубки, и мощность электронагрева обоих реакторов были одинаковыми.

VII. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ЕВГЕНИЯ БУРЯКА (ВНИИЭФ г. САРОВ)

Эксперименты проходили в марте-мае 2015 г [9]. Топливо (500 мг Ni + 50 мг LiAlH₄) находилось в контейнере из нержавеющей стали, помещенном в кварцевую ампулу. Нихромовый нагреватель питался импульсами длительностью 0,76 мс, мощность регулировалась частотой импульсов. Определение выделяющегося тепла осуществлялось путем измерения массы испарившейся воды. Нагрев со скоростью 0,02°C/сек происходил до достижения температуры 1000 или 1200°C, далее около часа температура удерживалась стабильной.

Измерения показали, что при температуре 1000°C мощность избыточного тепловыделения была 42 Вт (COP=1,21), при температуре 1200 °C избыточная мощность 83 Вт (COP=1,25).

Давление внутри реактора быстро увеличилось до 7 бар, когда температура достигла 200°C. После этого давление медленно возрастало и к концу опытов достигало 8-9 бар.

VIII. ТЕПЛОГЕНЕРАТОР И.СТЕПАНОВА (МГУ), Ю.МАЛАХОВА и НГУЕН КУОК ШИ (МЭИ)

Основным элементом теплового генератора является керамическая трубка длиной 160 мм, внутренний диаметр 4 мм, внешний – 6 мм, внутренний объем которой заполнен топливом (смесь порошка никеля массой 0,9 г и алюмогидрида лития 0,1 г) [10]. Один из концов трубки герметично закупорен термостойким цементом, а на другом конце установлена хромель-алюмелевая термопара, зафиксированная таким же цементом. На внешней стороне тепловой ячейки в ее средней части расположена вторая термопара. Эта трубка устанавливалась внутри нагревателя - керамической трубки, по внешней поверхности которой намотан фехралевый провод, покрытый жаростойким цементом.

Для определения выделяющегося тепла использован проточный калориметр. Для стабилизации скорости потока воды применялся демпфирующий бак. Измерялись расход воды и температура воды на входе и выходе калориметра, что позволило определять мощность тепловыделения в реакторе.

После четырех попыток запуска, завершившихся быстрым разрушением ячейки из-за неконтролируемого перегрева, 19 июня 2015 г. в результате медленного нагрева (9 часов) удалось добиться устойчивой работы с выделением избыточной энергии. При температуре ниже 1000°C температуры внутри и снаружи реактора были примерно одинаковые. При более высокой температуре температура внутри стала больше, чем

снаружи, что указывает на наличие дополнительного тепловыделения.

Работа с избыточным тепловыделением продолжалась более часа при температуре около 1100°C. Калориметрия показала, что выделялось 2100 Вт тепла при подводимой электрической мощности около 850 Вт (COP=2,5).

На внешнем корпусе установки и на продолжении оси калориметра были установлены пять плоских кассет с рентгеновской фотопленкой. Продолжительность экспонирования составила почти 12 часов. После проявления пленок каких-либо воздействий на фотоэмульсионный слой не обнаружено.

IX. ЭКСПЕРИМЕНТ ГРУППЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ИЗ МОСКВЫ LENZANDCOLAB@GMAIL.COM

Топливо (1 г предварительно наводороженного никеля + 0,3 г Ni марки ПНК-ОТ2 + 0,07 г LiAlH₄) находилось в трубке из нержавеющей стали длиной 70 мм с внешним диаметром 8 мм и внутренним 4 мм [9]. В качестве пробок использованы винты М5, заваренные лазером. Термопарные провода приварены к середине трубки. Другая термопара измеряла температуру торца трубки. Нагреватель был изготовлен из фехралевого провода, навитого на керамическую трубку.

Нагрев до максимально заданной температуры 1350°C продолжался более 8 часов. Через час после достижения этой температуры мощность нагревателя стала снижаться, а температура реактора расти. В последние минуты работы реактора произошел скачок температуры выше предела измерения (1370°C), в результате чего перегорела термопара, произошло разрушение реактора и нагревателя.

X. ЭКСПЕРИМЕНТ В ИНСТИТУТЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, БЕЙДЖИНГ, КИТАЙ SONGSHENG JIANG, NI-H RESEARCH GROUP CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY, BEIJING, CHINA

Топливо (Ni + 10% LiAlH₄) массой 20 г находилось в ячейке из никеля, размещенной в камере из нержавеющей стали [11]. Нагреватель выполнен из нихромового провода, намотанного на керамическую трубку. Он питался от стабилизированного источника постоянного тока. Нагреватель окружен теплоизоляцией из MgO. Температура измерялась тремя термопарами. Одна из них находилась на поверхности камеры, другая на поверхности реакторной ячейки, третья контактировала с топливом.

Эксперимент продолжался 96 часов 4-8 мая 2015 г. В начале эксперимента камера была вакуумирована, затем был включен постепенный нагрев. В результате разложения LiAlH₄ при температуре 150-300°C давление возросло до 4 бар. В дальнейшем давление на протяжении 18 часов было ниже атмосферного.

На следующий день, когда температура внутри ячейки с топливом достигла 950°C при мощности нагревателя 900 Вт, температура быстро поднялась настоль-

ко, что центральная термопара разрушилась. Температура на поверхности ячейки превысила 1370°C (предел измерений), и стала намного выше температуры около электронагревателя, что указывает на появление избыточного тепловыделения в реакторной ячейке мощностью не меньше 600 Вт. Избыточная мощность удерживалась около 6 часов. При повторном запуске наблюдался участок самоподдерживающегося режима продолжительностью около 10 минут.

Во время аналогичного эксперимента в ноябре 2015 наблюдался участок продолжительностью около 120 минут, когда реактор работал с отключенным внешним подогревом, выделяя около 450 Вт при температуре около 1300°C [12].

XI. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ТЕХ ЖЕ КИТАЙСКИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ С НИКЕЛЕВЫМ ПРОВОДОМ

Отличие этого эксперимента от предыдущего состоит в том, что вместо топливной смеси $\text{Ni} + \text{LiAlH}_4$ использован никелевый провод диаметром 0,5 мм, намотанный на трубку из нержавеющей стали диаметром 10 мм [13]. Камера реактора наполнена водородом. Температуру измеряли тремя термопарами: на внешней поверхности реакторной камеры, в контакте с никелевым проводом и внутри трубки. Регулятор питания электронагревателя контролировался сигналом с первой термопары.

В процессе постепенного нагрева после достижения температуры около 900°C произошел быстрый подъем температуры, причем все три термопары показали температуру выше предела измерений (1000°C). Аномальный разогрев продолжался около 80 минут. Через два часа после этого произошло возрастание температуры примерно на 3°C продолжительностью 3,5 часа. Оценка величины избыточного тепловыделения дает величину 240 Вт (1100 кДж) в первом событии и 5 Вт (64 кДж) во втором событии. Контрольные измерения без никелевого провода не обнаружили никакого аномального тепловыделения. После эксперимента было обнаружено повреждение никелевого провода. Исследования на электронном сканирующем микроскопе показали сильные изменения на поверхности провода.

XII. ЭКСПЕРИМЕНТ АНДРЕЯ ХРИЩАНОВИЧА

Спираль из никелевого провода, навитого на керамическую трубку, находилась в трубе из кварца [14]. Кварцевая труба помещена в сосуд с проточной водой. Тепловыделение определялось путем измерения расхода воды и разности температур на входе и выходе сосуда. Сравнивалось тепловыделение в реакторе, наполненном водородом, с тепловыделением в реакторе, наполненном воздухом при одинаковой мощности нагрева никелевой спирали электрическим током.

Обнаружено, что при давлении водорода 1 бар тепловыделение в реакторе, наполненном водородом, больше тепловыделения в реакторе с воздухом в 1,5 раза, а при давлении до 5 бар в 2-2,5 раза.

XIII. ЭКСПЕРИМЕНТ ДЖЕФФА МОРРИСА

В этом эксперименте тоже использована спираль из никелевого провода, помещенная в кварцевую трубку [15]. В отличие от многих других экспериментов, водород имел низкое давление – 5 торр. Заметное поглощение водорода зарегистрировано даже при комнатной температуре. Во время нагревов до температур 312, 398 и 498°C счетчик Гейгера зарегистрировал многократное увеличение скорости счета по сравнению с фоновой. После выключения нагрева на протяжении часа происходило постепенное возвращение скорости счета к фоновому значению.

XIV. ЭКСПЕРИМЕНТ В РГП ИЯФ, КАЗАХСТАН (А.Н. ОЗЕРНОЙ, М.Ф. ВЕРЕЩАК, И.А. МАНАКОВА, И.В. ХРОМУШИН)

Эксперимент заключался в измерении разности температур между двумя контейнерами из нержавеющей стали одинаковой массы и формы [16]. В один из них было помещено топливо (порошок $\text{Ni} + 10\% \text{LiAlH}_4$), а другой оставался пустым. Контейнер с топливом был герметизирован электронно-лучевой сваркой. Контейнеры были помещены в программируемую вакуумную печь.

Проведено контрольное испытание системы с двумя пустыми контейнерами. Разность температур оказалась нулевой во всем диапазоне изменения окружающей температуры от 20 до 1200°C . После этого был проведен эксперимент с контейнером, загруженным топливом, и пустым контейнером. В течение четырех часов температуру линейно поднимали от комнатной до 1200°C . Затем последовала часовая выдержка при этой температуре, после чего печь была выключена и стала остывать без принудительного охлаждения. При наборе температуры наблюдался рост разности температур контейнеров. В момент выхода на заданную температуру обнаружился небольшой спад, но затем, хотя температура печи упала с 1200 до 600°C , величина разности температур уменьшилась лишь на 10%.

По измеренной разности температур двух контейнеров, используя закон Стефана-Больцмана, с учетом степени черноты материала контейнера, было найдено, что контейнер при величине разности температур в 25°C и температуре окружающей среды 1200°C излучал около 21 Вт тепловой мощности. Продолжительность теста была ограничена 100 часами. Все это время разность температур была около 25°C . Согласно расчетам, за период испытаний контейнер с топливом выработал свыше 2 кВт·час тепловой энергии.

XV. ЭКСПЕРИМЕНТЫ В.Н. ЗАТЕЛЕПИНА И Д.С. БАРАНОВА, ЛАБОРАТОРИЯ “ИНЛИС”

Испытано несколько никель-водородных реакторов в разных температурных режимах при воздействиях высокочастотным электрическим разрядом и высокочастотными акустическими колебаниями [17]. Помимо

электрического нагрева, испытан нагрев пламенем газовой горелки. Сделан вывод о том, что для инициации реакции с избыточным тепловыделением необходим градиент температуры.

Исследовано поведение реакторов с выключенным внешним нагревом. Обнаружено, что при определенных условиях в никель-водородных системах возможно аномально быстрое понижение температуры.

XVI. Выводы

- В качестве топлива обычно использовалась смесь порошка никеля и алюмогидрида лития, образующего после разложения водород. Масса топлива около 1 г. Исключение - первый китайский эксперимент (20 г).
- Во втором китайском эксперименте, а также в эксперименте Хрищановича и Джеффа Морриса использован провод из никеля в атмосфере водорода.
- Обычно топливо находилось в контейнере из тонкой нержавеющей стали или никеля, размещаемом в герметичной трубке из керамики на основе корунда. Кроме того, проведены эксперименты с использованием вместо керамики кварца и нержавеющей стали.
- Электронагреватели изготавливались на основе провода из фехрала (кантала) или нихрома. Такие нагреватели не способны обеспечить продолжительную работу реакторов. Для питания нагревателей использовался переменный, постоянный или импульсный ток.
- Во всех экспериментах, кроме китайского и экспериментов Хрищановича и Джеффа Морриса, не было предварительного вакуумирования. Давление в реакторе обычно не поднималось выше нескольких бар при температуре 180-200°C и при дальнейшем нагреве сохранялось на этом уровне или снижалось.
- В большинстве экспериментов использованы контроллеры, поддерживающие задаваемую температуру. Нагрев до рабочей температуры осуществлялся на протяжении нескольких часов.
- Четыре эксперимента для оценки тепловыделения имели специальные калориметры. В остальных экспериментах для оценки тепловыделения применялась методика сопоставления реакторов с топливом и без топлива. Превышение тепловыделения над потребленной электроэнергией лежало в пределах от 1,2 до 2,7.
- Прекращение работы реакторов происходило либо из-за их разрушения, либо по причине завершения рабочего дня там, где была невозможна круглосуточная работа.
- Повышение уровня радиации замечено лишь в экспериментах Джеффа Морриса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Levi G., Foschi E, Höistad B. Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel. <http://amsacta.unibo.it/4084/1/LuganoReportSubmit.pdf>.
- [2] Пархомов А.Г. Отчет международной комиссии об испытании высокотемпературного теплогенератора России. *ЖФНН*, 2(6):57–61, 2014.
- [3] Пархомов А.Г. Исследование аналога высокотемпературного теплогенератора России. *ЖФНН*, 3(7):68–72, 2015.
- [4] www.coldfusionvideos.com/videogallery/wired-magazine-features-explosion.
- [5] <http://www.quantumheat.org>.
- [6] Пархомов А.Г. Результаты испытаний нового варианта аналога высокотемпературного теплогенератора России. *ЖФНН*, 3(8):34–38, 2015.
- [7] <http://www.hydrogenfusion.blogspot.ru/search?updated-min=2015-01-01T00:00:00-08:00&updated-max=2016-01-01T00:00:00-08:00&max-results=6>.
- [8] <http://lenr.seplm.ru/novosti/prezentatsiya-opyta-s-analogom-ag-parkhomova-denisa-vasilenko-iz-volgograda>.
- [9] <https://yadi.sk/i/JM5BH21QjijAB>.
- [10] Степанов И.Н., Малахов Ю.И., Ши Нгуен-Кюок. Эксперимент по регистрации избыточного выделения энергии в тепловой ячейке, загруженной смесью порошков никеля и алюмогидрида лития. *ЖФНН*, 3(9):90–93, 2015.
- [11] <http://lenr.seplm.ru/novosti/3-soobshcheniya-o-uspeshnom-povtoreнии-opyta-s-nikel-vodorodnym-teplogeneratorom-analog-rossi>.
- [12] http://www.e-catworld.com/wp-content/uploads/2016/03/AnomalousHeat_Jiang_2015_English.pdf.
- [13] <http://www.e-catworld.com/wp-content/uploads/2015/07/Excess-heat-production-in-hydrogen-loaded-nickel-wire.pdf>.
- [14] <http://lenr.seplm.ru/novosti/andrei-khrishchanovich-povtoril-opyt-s-yacheikoi-chelani>.
- [15] <http://www.e-catworld.com/2016/03/05/celani-replication-report-published-radiation-detected-jeff-morris>.
- [16] <http://lenr.seplm.ru/articles/v-kazakhstan-proveli-uspeshnyi-opyt-s-nikel-vodorodnoi-sistemoi>.
- [17] <http://lenr.seplm.ru/konferentsii/doklady-22-rkkhtyaishm>.