



Экспериментальные

исследования

избыточного тепловыделения в Ni+LiAlH₄ - системе

И.Н. Степанов¹, В.А. Панчелюга²

Аннотация— Настоящая работа посвящена исследованию возможности избыточного тепловыделения в Ni+LiAlH₄-системе. На основе проведенных экспериментов можно говорить о реальности избыточного выделения тепла в Ni+LiAlH₄-системе, величина которого равна 10-50% и составляет в абсолютном выражении 4.3 МДж (1.2 кВт·ч).

I. Введение

Основываясь на работах Ф.Пиантелли и С.Фокарди [1], [2], которые около 20 лет изучали механизмы наводороживания никеля и обнаружили при этом избыточное выделение тепла, А.Росси (совместно с С.Фокарди) смог превратить используемую в [1], [2] ячейку в промышленный вариант теплогенератора [3]. В 2011 г. он демонстрирует 10 кВт аппарат e-Cat, а в 2012 г. создает уже 1 МВт установку [4].

Весной 2014 г. начинается тестирование реактора А.Росси международной группой независимых специалистов. Отчет о результатах тестирования был опубликован в октябре 2014 г [5].

Согласно [5], тестируемое устройство весом 450 г, содержащее 1 г топлива, непрерывно работало в течение 32 дней, произведя 1.6 МВт·час (5825 МДж) тепловой энергии сверх потребленной электрической. При этом плотность энерговыделения составила 1.6·10⁹ Вт·ч/кг (5.840⁶ МДж/кг), что в сотни тысяч раз больше того, что можно получить при сжигании нефтепродуктов. Так, энергия, полученная в ходе 32-дневной работы устройства, эквивалентна энергии, выделяющейся при сжигании более чем 100 кг нефти. Следовательно, на единицу массы топливной смеси, использованной А.Росси, производится энергии примерно столько же, сколько на атомных электростанциях. При этом топливом является сравнительно дешевое вещество, запасы которого на Земле практически неограниченны [6].

Т.к. после 32 дней тестирования теплогенератор А.Росси был остановлен, то его возможное время работы, очевидно, может быть больше. В [7] приведено интервью, в котором А.Росси говорит о том, что его 1 МВт установка проработала более 180 дней и предполагает, что ее время непрерывной работы с одним топливным элементом может

быть около года. Исходя из приведенных экспериментальных работ, можно утверждать, что нижняя граница времени непрерывной работы составляет порядка 180 дней. Верхняя граница, в настоящее время, остается неизвестной.

Результаты А.Росси, в основных чертах, были независимо воспроизведены А.Г.Пархомовым [8], [9], [10], [11] в декабре 2014 г.

В сочетании с ожидаемым длительным временем протекания реакции, сравнительно низкой стоимостью и доступностью используемых реагентов представляется весьма перспективным ее дальнейшее практическое применение, как в качестве собственно теплогенератора, так и в качестве первичного источника энергии, которая затем может быть преобразована в другие виды энергии - механическую и электрическую.

Целью настоящей работы является в первую очередь исследование избыточного тепловыделения в процессе работы реактора Росси-Пархомова.

II. Краткое описание экспериментальной установки. Схема измерений

Использованная в экспериментах установка для исследования эффекта избыточного тепловыделения при нагреве смеси порошка никеля с порошком алюмогидрида конструктивно выполнена в виде теплоизоляционного блока, внутри которого расположен теплообменник, нагреватель и тепловая ячейка с загруженным в неё топливом, а также измерительных приборов для контроля электрических и тепловых параметров.

Теплоизоляционная защита обеспечивает практически постоянную температуру внешней оболочки теплообменника и изготовлена из вспененного кварца, имеющего низкую теплопроводность. Для защиты от внешних повреждений теплоизоляционный блок обшит панелями из текстолита и имеет в центре сквозное цилиндрическое отверстие для установки теплообменника.

Теплообменник выполнен по коаксиальной схеме, т.е. изготовлен из двух соосно расположенных цилиндрических труб. Материал внутренней трубы - медь, а внешней - нержавеющей сталь. Торцевое соединение

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, stepanovigor@gmail.com.

² ИТЭБ РАН, panvic333@yahoo.com.

труб и штуцеров для подачи воды выполнены методом сварки. Режим работы теплообменника - проточный со свободным сливом охлаждающей водопроводной воды.

Нагреватель состоит из двух соосных керамических трубок. На внутреннюю трубку намотана проволока из фехрала (диаметр 0.5 мм, сопротивление от 20 до 30 Ом). Концы проволоки фиксируются стопорными кольцами, предотвращающими ее соскальзывание. Затем поверх проволоки, герметизированной специальным цементом (Al_2O_3 - 45%, ZnO - 45%, жидкое стекло - 10%), надевается вторая керамическая трубка, обеспечивающая электрическую изоляцию нагревателя от корпуса теплообменника.

Топливная ячейка представляет собой цилиндрическую трубку, внешний диаметр которой 6 мм, внутренний - 4 мм, а её длина около 150 мм. Отличительной особенностью использованных в эксперименте топливных ячеек является наличие в их конструкции двух термопар типа К: внутренней и наружной. Первая из них установлена внутри трубки и с ее помощью осуществляется контроль температуры во внутреннем объеме ячейки. Для ее герметизации используется специально приготовленный цемент, выдерживающий высокую температуру и обеспечивающий при этом герметичность внутреннего объема ячейки. Внешняя термопара закреплена на внешней поверхности трубки, на половине её длины. Такая конструкция обеспечивает уверенную фиксацию начала реакции, связанной с избыточным тепловыделением.

После установки внутренней термопары через другой торец трубки происходит загрузка топлива (смесь порошка никеля и алюмогидрида лития), после чего он также герметизируется цементом. При проведении эксперимента использовался порошок никеля марки ПНК- УТ1 (ГОСТ 9722-97) и алюмогидрид лития (производитель: Aldrich). Приготовленное топливо содержало 1.5 г никеля и 0.15 г алюмогидрида лития. Исходные компоненты тщательно перемешивались в условиях, исключающих воздействие влаги как в процессе приготовления смеси, так и при её последующей герметизации в керамической трубке.

Перед проведением эксперимента тепловая ячейка устанавливается внутри нагревателя, который, в свою очередь, устанавливается внутри теплообменника.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Его основой является топливная ячейка К1, в которой находится смесь $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$ и где, при нагревании, реализуется исследуемая реакция. Ее ход контролируется внутренней и наружной термопарами Т1 и Т2, измеряющими температуру внутри К1 и на ее наружной стенке соответственно. Ячейка К1 расположена внутри керамической трубки К2 нагревателя НЭ.

Температура проточного калориметра измеряется термопарами Т3 и Т4, измеряющими температуру на входе (Т3) и выходе (Т4) теплообменника. Расход воды контролируется при помощи счетчика РВ. Температура нагревателя НЭ контролируется при помощи

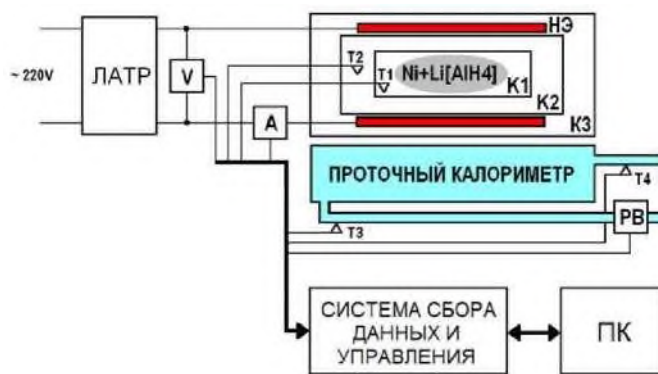


Рис. 1. Схема теплогенератора на основе $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$ -реакции.

лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), а потребляемая НЭ мощность - при помощи вольтметра V и амперметра А. Все данные с показанных на рис. 1 измерительных приборов поступают на схему сбора данных в качестве которой использовался многоканальный 24-битный аналого-цифровой преобразователь ZET220 фирмы ZetLab. С использованием соответствующего программного обеспечения все данные в режиме реального времени регистрируются в памяти компьютера ПК для дальнейшей обработки.

III. Результаты проведенных исследований

Как уже отмечалось, главной задачей настоящего исследования является изучение вопроса об избыточном выделении тепла топливной ячейкой, заполненной смесью порошков никеля и алюмогидрида лития. Конструкция используемой нами топливной ячейки позволяет реализовать четкий критерий начала реакции, идущей с выделением тепла.

В ходе многочисленных измерений нами было обнаружено, что температура внутри калибровочной ячейки (топливная ячейка, которая не заполнена смесью $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$) всегда меньше или равна температуре на ее поверхности. Такой же, как и для калибровочной ячейки, ход температурных кривых наблюдается и в случае, когда топливная ячейка заполнена смесью $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$, но по каким-либо причинам (микротрещины, попадание влаги в смесь $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$) реакция не начинается. Данный случай демонстрирует рис. 2а, на котором представлен ход разности между температурами внутренней и наружной термопар.

В случае же топливной ячейки, содержащей смесь $\text{Ni}+\text{LiAlH}_4$, начало реакции, идущей с выделением тепла, должно привести к тому, что температура внутри ячейки превысит температуру на ее поверхности. Это выразится в том, что кривая зависимости термо-эдс от времени для внутренней ячейки пересечет такую же кривую для термо-эдс от поверхностной термопары. Такое пересечение является первым и главным индикатором начала исследуемой реакции. На рис. 2б приведен пример подобного поведения температурных кривых. Здесь представлена разность между результатами измерений, выполненных внутренней и наружной

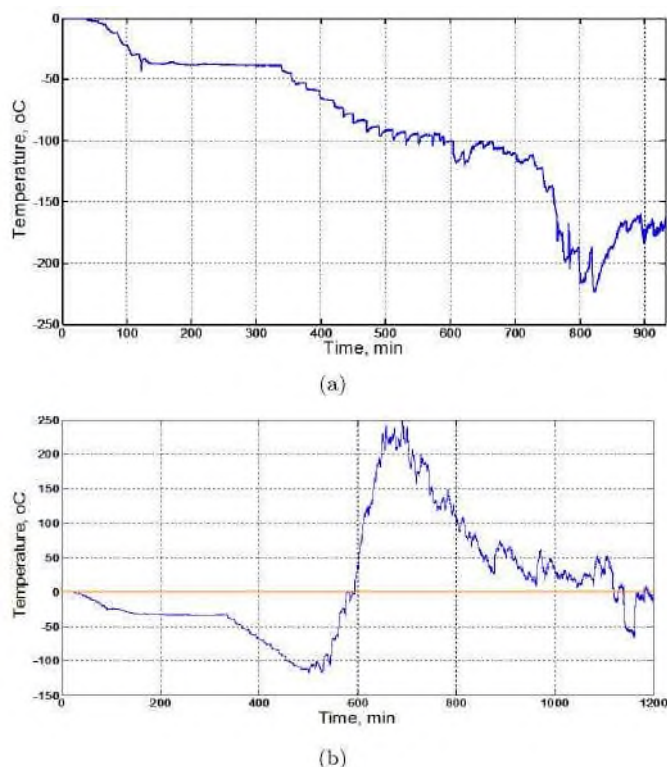


Рис. 2. Ход разностной температурной кривой в случае отсутствия реакции Ni+LiAlH₄ (а) и в случае ее наличия (б).

термопарами. Видно, что начало реакции связано с переходом разностной кривой через нулевое значение с последующим быстрым ростом температуры внутри топливной ячейки. Со временем, в процессе выхода реакции на стационарный режим, разность между температурами внутри и снаружи топливной ячейки постепенно уменьшается.

Как следует из приведенных на рис. 2 кривых, их поведение в случае наличия дополнительного тепловыделения внутри топливной ячейки, рис. 2б, и в случае его отсутствия, рис. 2а, кардинально отличаются. Это обстоятельство позволяет безошибочно определение начала исследуемой реакции Ni+LiAlH₄.

Описанная в предыдущем разделе экспериментальная установка позволяет определение выделяемого в ходе Ni+LiAlH₄ -реакции тепла двумя путями: на основе температурных измерений на поверхности и внутри топливной ячейки и на основе температурных измерений на входе и выходе проточного калориметра. Наличие источника дополнительного тепловыделения будет приводить к тому, что для достижения одной и той же выходной температуры потребуются меньшая электрическая мощность.

Рассмотрим баланс мощностей на основе измерений первого типа с использованием данных эксперимента №6. В данном эксперименте топливная ячейка была наполнена топливной смесью следующего состава: 1.5 г Ni + 0.15 г LiAlH₄. Порошок занимал 90% объема топливной ячейки.

На рис. 3 показана калибровочная кривая, которая показывает величину электрической мощности, которую необходимо подвести к используемому в эксперименте

электронагревателю для достижения некоторой заданной температуры. Кружками на рис. 3 показаны экспериментальные значения. Сплошная линия представляет калибровочную кривую

$$W_c(T_e) = aT_e^2 + bT_e + c \quad (1)$$

где $a = 0.0004564$, $b = 0.384$, $c = -11.72$. Можно видеть, что $W_c(T_e)$ хорошо аппроксимирует полученные в ходе калибровки экспериментальные данные. Зависимость (1) используется в последующих оценках энергетического баланса для оценки мощности переменного тока, которая должна быть приложена к нагревателю для достижения регистрируемой в эксперименте температуры T .

Результат такого рода оценок приведен на рис. 4. Здесь по оси Y приведена разность между мощностью, которую необходимо подвести к нагревателю без топливной ячейки для достижения наблюдаемого в эксперименте значения температуры и мощностью, которая была затрачена для достижения того же значения температуры в случае топливной ячейки, загруженной смесью Ni+LiAlH₄. Как можно видеть, приведенная на рис. 4 кривая, начиная с температуры 50-100 °C, находится в области положительных значений разности $W_c - W_e$, что свидетельствует о наличии дополнительного тепловыделения внутри топливной ячейки. В районе 600 мин, когда, как следует из рис. 2б, начинается Ni+LiAlH₄-реакция, наблюдается резкий рост разности $W_c - W_e$. Как можно видеть из рис. 4, в пике зависимости $W_c - W_e$ наблюдается генерация дополнительной мощности порядка 400 Вт.

Величина коэффициента мощности COP дается следующим выражением:

Значения W_c вычисляются на основе (1), W_e получены в ходе эксперимента. В случае, если полученные в эксперимента значения мощности W_e , необходимой для достижения заданной температуры, равняются значениям мощности, полученным в ходе калибровки - W_c , тогда COP

$$COP = \frac{W_c - W_e}{W_e} + 1 \quad (2)$$

= 1. Если $W_c < W_e$, то $COP < 1$. Этому случаю соответствует часть кривой, относящейся к первому часу эксперимента. При $W_c > W_e$ реализуется случай избыточного тепловыделения, который в эксперименте №6 начинается со второго часа эксперимента и продолжается в течение всего времени до отключения питания нагревателя. Среднее значение COP за все время, когда реализуется случай $W_c > W_e$, равно $COP = 1.21$. Среднее значение COP за время после начала реакции (после 590-й минуты) равно $COP = 1.26$. Максимальное значение $COP = 1.51$ достигается на 675-й минуте эксперимента через 85 минут после пересечения температурных кривых.

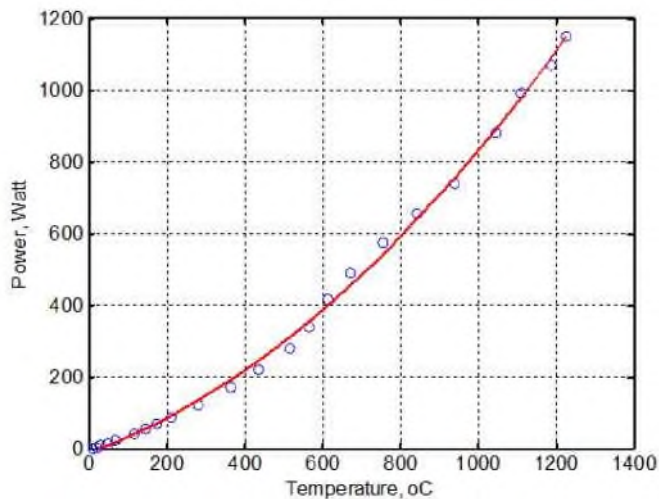


Рис. 3. Зависимость мощности от температуры. Кружками обозначены экспериментальные значения. Сплошная кривая - калибровка, согласно калибровочной формуле.

Оценка COP на основе (2) использует мгновенные значения мощности W_e и температуры T_e . Оценим энергию, затраченную в ходе эксперимента на нагрев спирали нагревателя:

$$E_e = \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{оконч}}} W_e dt \quad (3)$$

Численное интегрирование полученных в эксперименте данных согласно (3) дает $E_e = 38352894$ Дж ≈ 38.4 МДж. Энергия, связанная с избыточным тепловыделением, дается следующим выражением:

$$E_c = \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{оконч}}} (W_e - W_{\text{изб}}) dt \quad (4)$$

По сути (4) дает площадь под кривой, показанной на рис. 4. Численное интегрирование на основе (4) дает следующее значение энергии $E_c = 1.0339 \cdot 10^7$ Дж ≈ 10.3 МДж. Используя значения E_e и E_c , вычисленные согласно (3) и (4), можно оценить $\text{COP} = 1.27$. Данное значение хорошо согласуется с $\text{COP} = 1.26$, полученным на основе мгновенных значений мощности, рис. 5.

Определение COP на основе температурных измерений на входе и выходе проточного калориметра использует те же процедуры, как и для случая рассмотренных выше измерений внутри и снаружи топливной ячейки. На рис. 6 приведена калибровочная кривая использованного в эксперименте №6 проточного калориметра. Сплошная линия - линейная аппроксимация калибровочных измерений (показаны кружками):

$$W_c = 48.94 \cdot \Delta T_c - 19.86 \quad (5)$$

где ΔT_c - разность между значениями температур на входе и выходе проточного калориметра. С использованием (5) и на основе измерений ΔT_e , выполненных для работающей тепловой ячейки, рассчитана зависимость избыточной тепловой мощности от времени, рис. 7. Использование зависимости, представленной на рис. 7, позволило рассчитать зависимость величины COP от времени, которая приведена на рис. 8, и среднее значение которой равно 1.13.

Работа электрического нагревателя в течение эксперимента потребовала 32.5 МДж (9 кВт-ч), в то же время количество энергии, полученное с использованием выражения (5), равно 36.8 МДж (10.2 кВт-ч). Величина полученной при этом избыточной энергии равна 4.3 МДж (1.2 кВт-ч).

IV. Заключение

Нами было исследовано несколько вариантов конструкции реактора, с помощью которых была показана работоспособность теплогенератора, основанного на реакции $\text{Ni} + \text{LiAlH}_4$. Проведенные исследования показали, что тепловой выход данной реакции превышает подводимую к теплогенератору мощность на 10-50% и составляет в абсолютном выражении 4.3 МДж (1.2

Рис. 4. Баланс мощности в ходе эксперимента №6.

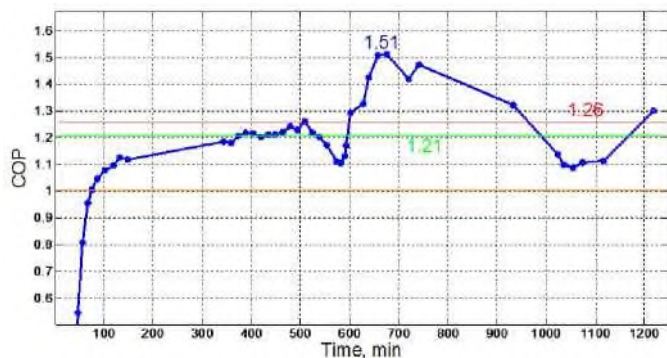


Рис. 5. Зависимость COP от времени для эксперимента №6. Оранжевая линия - COP = 1, зеленая линия - COP = 1.21, красная линия - COP = 1.26. Максимальное значение COP = 1.51.

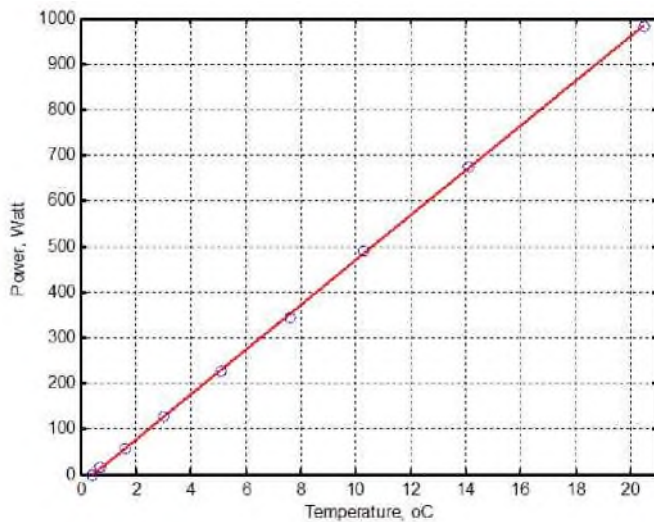


Рис. 6. Калибровочная кривая использованного в эксперименте №6 проточного калориметра.

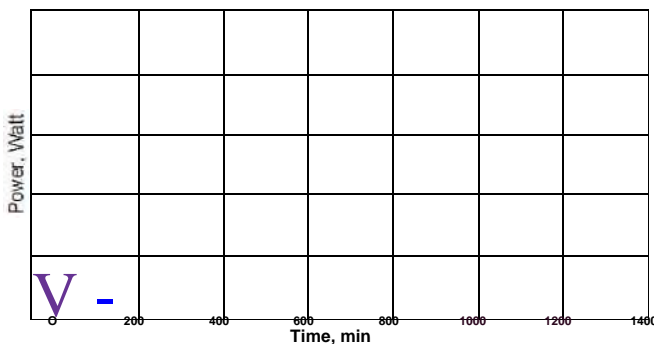


Рис. 7. Зависимость избыточной тепловой мощности от времени.

кВт·ч). В среднем, как следует из оценок, приведенных на рис. 4 и рис. 7, тепловая ячейка, содержащая 1.5 гр топливной смеси, может выдавать 50-100 Вт избыточной мощности (сверх потребленной от сети).

Полученные к настоящему времени результаты, суммарно, позволяют утверждать о реальности избыточного выделения тепла в Ni+LiAlH₄-системе. Количественная оценка характерной величины этого тепловыделения и исследование его конкретных механизмов требует, на наш взгляд, дальнейшего продолжения ведущихся в настоящее

время экспериментов.

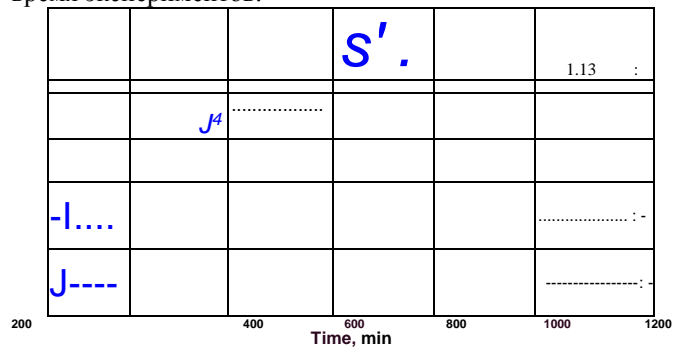


Рис. 8. Зависимость COP от времени.

Список литературы

- [1] Focardi S., Habel R., Piantelli F. Anomalous heat production in Ni-H system. *Nuovo Cimento*, 107:163-167, 1994.
- [2] Focardi S., Gabbiani V., Montalbaro V., Piantelli F., Veronesi S. Large excess in heat production in Ni-H system. *Nuovo Cimento*, 111A:1233-1241, 1998.
- [3] Focardi S., Rossi A. A new energy source from nuclear fussion // *Journal of Nuclear Physics*, 2010, March 22.
- [4] Просвирнов А.А. Обобщение и классификация низкоэнергетических ядерных реакций // Проблемы холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. Материалы 20-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии, Лео, Сочи, Краснодарский край, 29 сентября - 6 октября, 2013 г., М., МАТИ, 2014, с.93-109.
- [5] Giuseppe Levi, Evelyn Foschi, Bo Hoistad, Roland Pettersson, Lars Tegner, Hanno Essen Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel // <http://www.sifferkoll.se/sifferkoll/wp-content/uploads/2014/10/LuganoReportSubmit.pdf>, 2014 - 53p.
- [6] Пархомов А.Г. Отчет международной комиссии об испытании высокотемпературного теплогенератора Росси. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 2(6):57-61, 2014.
- [7] В.А.Узиков Получен патент США на новый источник энергии ЕСАТ // *Атомная стратегия*, 2015, №105, с.29.
- [8] Пархомов А.Г. Исследование аналога высокотемпературного теплогенератора Росси. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 3(7):68-72, 2015.
- [9] Пархомов А.Г. Результаты испытаний нового варианта аналога высокотемпературного теплогенератора Росси. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 3(8):34-38, 2015.
- [10] Пархомов А.Г. Никель-водородные реакторы, созданные после публикации отчета об эксперименте в Лугано. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 4(11):38-62, 2016.
- [11] Пархомов А.Г. Длительные испытания никель-водородных теплогенераторов в проточном калориметре. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 4(12-13):74-79, 2016.