

Длительные испытания никель-водородных теплогенераторов в проточном калориметре

А.Г. Пархомов

Аннотация—Описана конструкция никель-водородного теплогенератора, позволившая поднять продолжительность непрерывной работы до месяца с превышением выделения энергии над потребляемой до 20%. Масса топлива (смесь никеля и алюмогидрида лития) около 2 г. Суммарная наработка избыточной энергии около 100 МДж. Для измерения количества выделяемого тепла использован калориметр с проточной водой. Приведены диаграммы, иллюстрирующие ход процессов в теплогенераторе и калориметре. Статья написана на основе доклада, сделанного на 23 Российской Конференции по Холодной Трансмутации Ядер и Шаровой Молнии.

После публикации отчета об эксперименте с теплогенератором Росси в Лугано [1], [2], позволившей в общих чертах понять конструкцию испытанного устройства, было создано множество подобных устройств, использующих в качестве топлива смесь порошкообразного никеля и алюмогидрида лития. Многие из них продемонстрировали выделение тепла сверх затраченной электроэнергии [3]. В большинстве из этих реакторов наличие эффекта определялось или из анализа зависимости температуры от потребляемой мощности, или путем сопоставления процессов в реакторах с топливом и без топлива. Но лишь некоторые из них имели специальные калориметры, позволившие надежно определять количество выделявшегося тепла. Отметим калориметр АП1 [3], [4] и реактор Буряка [3], в которых тепловыделение измерялось по массе испарившейся воды, а так же проточный калориметр Степанова [3], [5]. Реактор в этом калориметре проработал около часа, выделяя до 1250 Вт избыточной мощности при подводимой электрической мощности 850 Вт.

I. УСТРОЙСТВО ПРОТОЧНОГО КАЛОРИМЕТРА И РЕАКТОРА - ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Методика измерения количества выделяющейся теплоты калориметрами с проточной водой считается наиболее надежной, поэтому устройство, аналогичное калориметру Степанова, мы использовали для измерения тепловыделения в семи реакторах. В данной статье описан один из них, который проработал больше месяца. Достичь продолжительной работы удалось в

результате того, что для нагревателя вместо фехралевого провода был использован провод из вольфрама. Так как вольфрам при температуре выше 800°C быстро разрушается на воздухе в результате окисления, нагреватель размещался в водородной среде, которая образовывалась внутри герметичной трубки после разложения алюмогидрида лития.

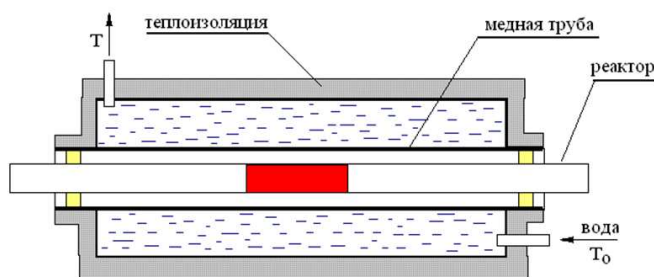


Рис. 1. Устройство проточного калориметра.

В использованном нами проточном калориметре (рис. 1) выделяемое тепло поглощается водой, омывающей медную трубу, окружающую реактор. Мощность тепловыделения определяется по формуле $W = c(dm/dt)(T - T_0)(1 + \alpha)$, где c – удельная теплоемкость воды, (dm/dt) – масса воды, протекающей в секунду, α – поправка на потери тепла, T_0 – температура на входе в калориметр, T – температура на выходе.

На рис. 2 и 3 показаны внешний вид и конструкция реактора. Топливо (1,8 г порошка никеля ПНК - ОТ2, смешанного с 0,2 г алюмогидрида лития) находится в керамической трубке длиной 80 мм внешним диаметром 7,5 мм и внутренним диаметром 5 мм. На трубку навита спираль из вольфрамового провода диаметром 0,5 мм. В трубку вставлены керамические стержни, которые при помощи центрирующих шайб удерживают внутреннюю трубку в середине реактора. В продольных отверстиях одного из стержней находится провод высокотемпературной термопары (типа ТВР), измеряющей температуру торца топлива. Другая термопара (типа К) контролирует температуру наружной поверхности внешней керамической трубки. Эта трубка имеет наружный диаметр 18 мм и внутренний 14 мм. Благодаря большой длине внешней трубки (350 мм) и низкой теплопроводности керамики, во время

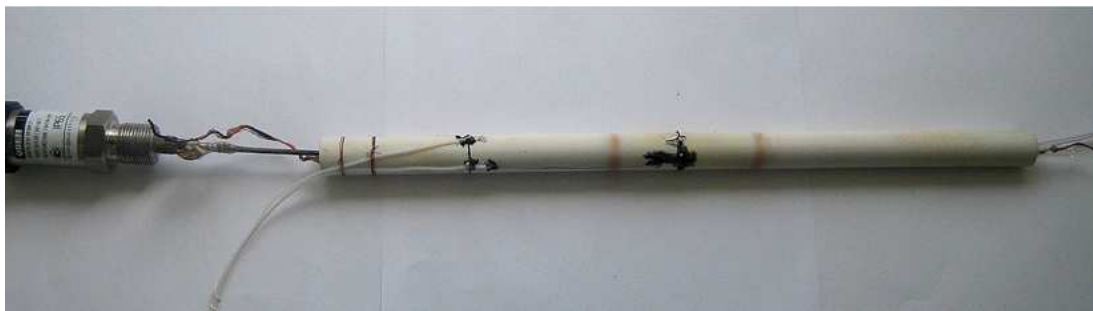


Рис. 2. Внешний вид реактора – теплогенератора перед установкой в калориметр.

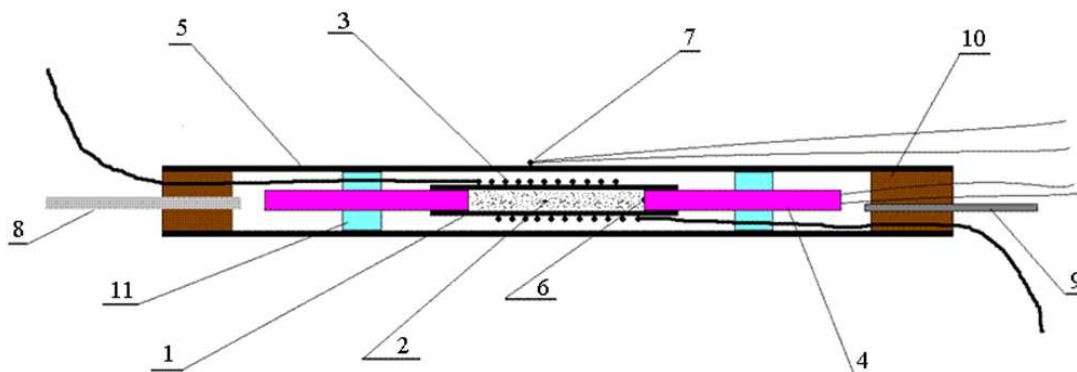


Рис. 3. Конструкция реактора. 1 – внутренняя керамическая трубка, 2 – топливо, 3 – нагреватель, 4 – керамические стержни, 5 – внешняя керамическая трубка, 6 – внутренняя термопара, 7 – наружная термопара, 8 – трубка для подключения манометра, 9 – трубка для откачки воздуха, 10 – герметик, 11 – центрирующие шайбы.

работы реактора температура ее концов не превышает 50°C , что позволяет для герметизации использовать эпоксидный компаунд. Из торцов реактора, помимо проводов нагревателя, выходят металлическая трубка для подключения манометра и стеклянная трубка для откачки воздуха.

II. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Электропитание реактора осуществлялось от вторичной обмотки трансформатора мощностью 630 Вт (рис. 4). Переключатель отводов вторичной обмотки позволяет задавать нужную мощность нагрева. Термопара, измеряющая температуру торца топлива, подключена к терморегулятору ТРМ-500, который держит электронагреватель включенным, пока температура не достигает заданной величины, и отключает его при превышении заданной температуры. Мощность нагрева измеряется вольтметром и амперметром непосредственно на нагревателе, а также ваттметром, установленным на входе трансформатора. Сопоставление мощности на нагревателе с мощностью на первичной обмотке позволяет определить потери в трансформаторе и проводах. Это необходимо для внесения поправки в результаты измерений расхода электроэнергии по импульсам с электросчетчика, регистрируемым компьютером. Помимо расхода электроэнергии, компьютер регистрирует температуры на входе и выходе

калориметра, а также информацию о расходе воды, поступающую с расходомера.

Общий вид установки показан на рис. 5. Помимо калориметра, силовой части, электроизмерительной аппаратуры, измерителя расхода воды и компьютеров, на рисунке виден бачок, предназначенный для стабилизации напора воды, поступающей в калориметр. Вода из водопроводной сети поступает в бачок с небольшим избытком. Избыток воды стекает в канализацию. Таким образом, уровень воды в бачке поддерживается постоянным. Поэтому сохраняется постоянный напор воды, поступающей в калориметр, а, следовательно, и ее расход. В бачке плавает поплавок, отключающий нагреватель реактора во избежание аварийной ситуации в случае перебоя в подаче воды.

Для проверки работоспособности установки было использовано устройство, подобное вышеописанному реактору, но не содержащее топлива. На рис. 6. показана зависимость тепловой мощности, определенной по результатам измерения нагрева воды в калориметре, от мощности, потребляемой электронагревателем. Если принять $\alpha = 0,04$, отклонение данных калориметра от результатов измерения электрической мощности не превышает 3%.

III. Ход ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На подготовительном этапе из реактора, нагретого до 120°C , форвакуумным насосом был откачан воздух

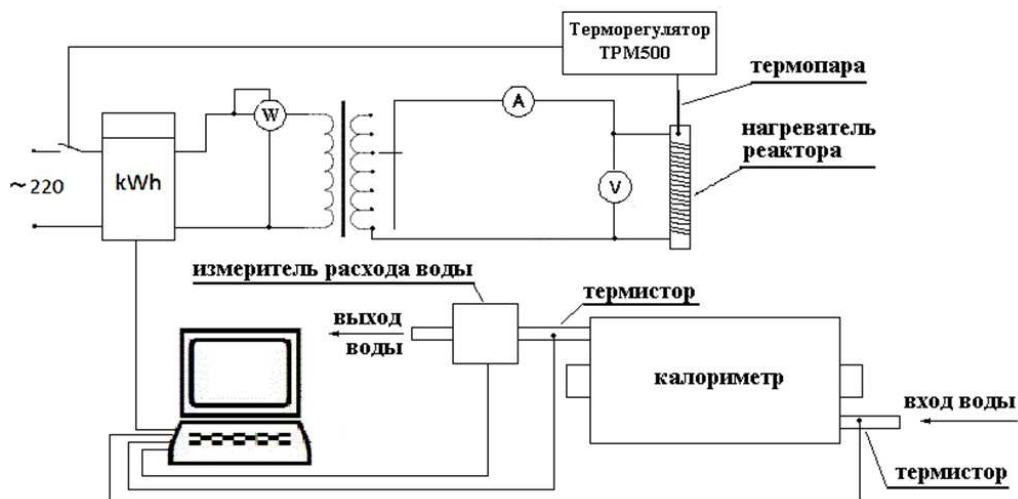


Рис. 4. Схема электропитания и регистрирующей аппаратуры.

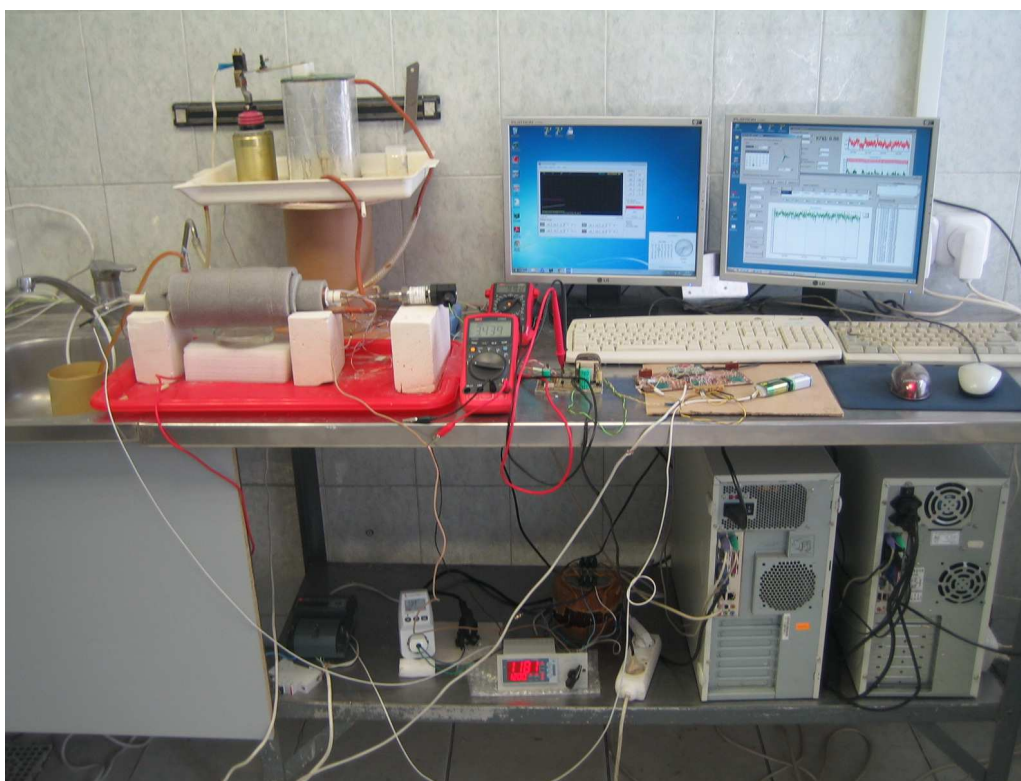


Рис. 5. Вид на экспериментальную установку.

с целью удаления остатков воды и других летучих загрязнений. После этого вакуумированный реактор был отсоединен от вакуумного насоса путем расплавления пламенем газовой горелки стеклянной трубки, соединяющей реактор с вакуумным насосом. Далее, в результате нагрева внутренней трубки до температуры 180-200°C, произошло разложение алюмогидрида лития, и реактор наполнился водородом до давления 4,25 бар. После этого температура была увеличена до 400°C и удерживалась на этом уровне около 20

часов. За это время давление снизилось до 4,0 бар. Путем открытия клапана, расположенного на трубке, соединяющей реактор с манометром, давление было снижено до 0,4 бар. В процессе постепенного повышения температуры после небольшого возрастания давления при температуре 1100°C, несмотря на дальнейшее увеличение температуры, давление начало падать и на четырнадцатые сутки от начала эксперимента стало ниже атмосферного.

На рис. 7 показано, как менялись на протяжении 38

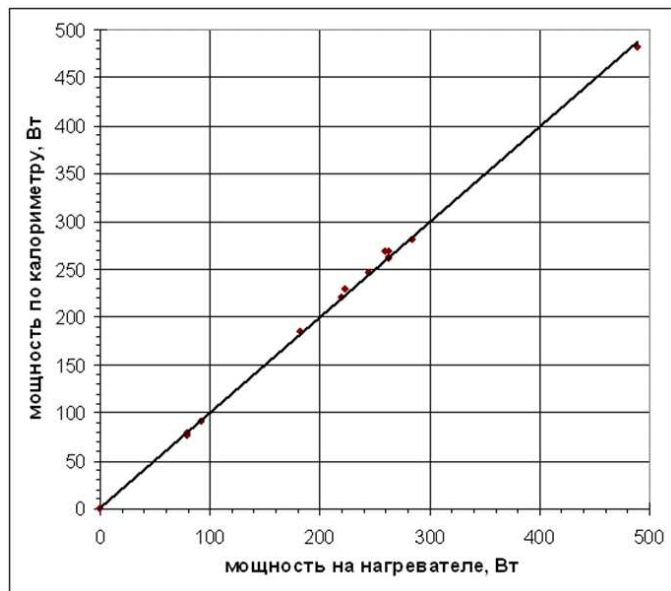


Рис. 6. Зависимость мощности, измеряемой проточным калориметром, от мощности на калибровочном электронагревателе. Коэффициент тепловых потерь $\alpha = 0,04$.

суток от начала до конца эксперимента мощность электронагрева, температура на торце топлива и мощность тепловыделения, измеряемая калориметром.

Видно, что при температурах до 1100°C мощность тепловыделения, измеренная калориметром, практически равна мощности, выделяемой электронагревателем. Начиная с температуры 1150°C , мощность тепловыделения заметно выше мощности электронагревателя. Ход разности между мощностью тепловыделения (избыточной мощностью) и мощностью потребленной электроэнергии показан на рис. 8. Там же показано, как менялось на протяжении эксперимента отношение мощности выделенного тепла к мощности, потребляемой электронагревателем (COP).

Видно, что появление избыточной мощности около 30 Вт, существенно превышающей возможную ошибку измерений, произошло после достижения температуры 1150°C . Примерно такая избыточная мощность выделялась вначале и при повышении температуры до 1200°C . Но через 5 суток без внешнего вмешательства произошло резкое повышение избыточной мощности до 50-60 Вт. Через 9 суток после этого произошло столь же резкое снижение до 20-30 Вт. В последнюю неделю наблюдались колебания избыточной мощности в пределах 15-30 Вт с периодом около 2 суток. Постепенное увеличение температуры до 1230°C привело к росту избыточной мощности до 35 Вт, однако работа в таком режиме через сутки привела к выходу реактора из строя в результате перегорания электронагревателя. Всего за время эксперимента выделилось около 100 МДж избыточной тепловой энергии.

В соответствии с изменениями избыточной мощности менялась величина COP в пределах от 1,0 до 1,2.

IV. РЕАКТОР ПОСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТА. АНАЛИЗ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

После окончания эксперимента реактор был вскрыт (рис. 9). Было обнаружено, что внутренняя поверхность внешней трубки вблизи нагревателя покрылась серым бугристым стекловидным налетом. Внешний вид внутренней трубки и обмотки нагревателя сохранился. Но внутри изменения произошли значительные. На рис. 10 показан вид расколотой внутренней трубки. На поверхности видны остатки вольфрамовой спирали. Внутри обнаружена стекловидная масса с вкраплениями металлических шариков размером около 0,1 мм. Несколько шариков имели диаметр до 1 мм (один из них виден на фотографии). На концах засыпки топливо приобрело вид спекшейся массы, содержащей мелкие металлические шарики. Кроме того, из внутренней трубки высыпался порошок. При помощи магнита из этого порошка была извлечена фракция, состоящая из нитей поперечным размером около 0,1 мм длиной до 5 мм (рис. 11).

Несколько образцов были подвергнуты масс-спектрометрическому анализу методом ICP-MS, позволяющим определять среднее по объему содержание изотопов. Были исследованы: исходная топливная смесь, металлический шарик, топливо вблизи края его засыпки, порошок из внутренней трубки, налет на внутренней поверхности наружной трубки. Ввиду большого объема полученной информации нет возможности представить ее в этой статье полностью. Отметим, что наиболее характерным результатом является возрастание содержания изотопов большого числа элементов по сравнению с исходным. Исключением является литий (снижение примерно в 100 раз) и алюминий (снижение больше чем в 10 раз). В металлическом шарике 80 изотопов увеличили свое содержание по сравнению с исходным топливом более чем в 2 раза. Отмечу особенно сильное возрастание присутствия изотопов бора, железа, галлия, церия, циркония, стронция, висмута. Наиболее значительные аномалии обнаружены в порошкообразной фракции. Например, содержание галлия возросло до 0,1 атомных процентов (в исходном топливе 0,007%). Особенно много появилось церия: 6,3% (в исходном топливе $<0,0001\%$).

Большой интерес представляет исследование возможных изменений изотопного состава лития и никеля. К сожалению, очень низкое содержание лития в образцах после пребывания в работающем реакторе не позволило сделать надежные измерения. Результаты, полученные для никеля, представлены в таблице. Так как данные по ^{64}Ni ненадежны из-за неконтролируемой добавки ^{64}Zn , при составлении таблицы для доли ^{64}Ni было принято значение из справочника [6]. Так как эта доля мала, такое допущение может изменить доли остальных изотопов лишь незначительно.

Видно, что данные по разным исследованным об-

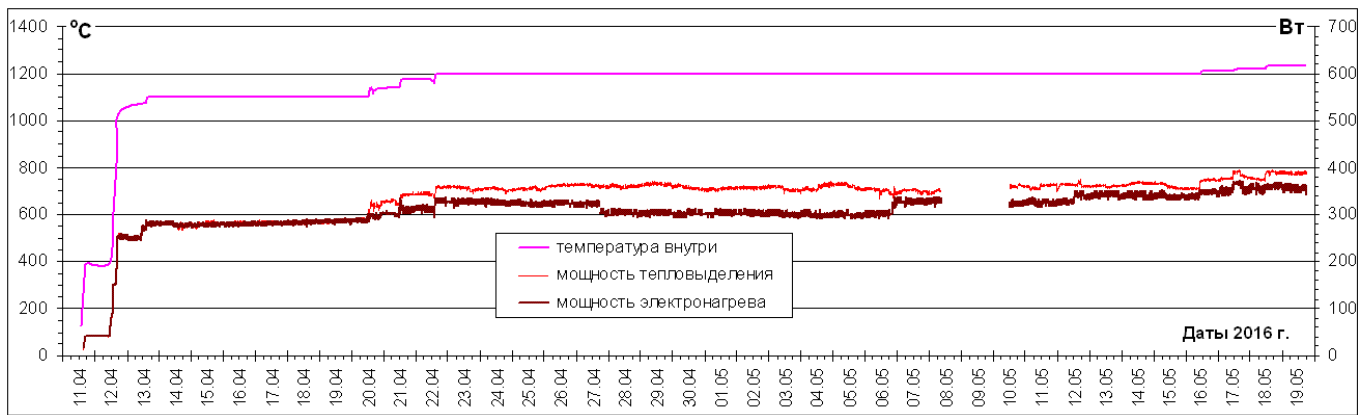


Рис. 7. Изменение температуры, потребления электроэнергии и мощности тепловыделения в процессе работы реактора.

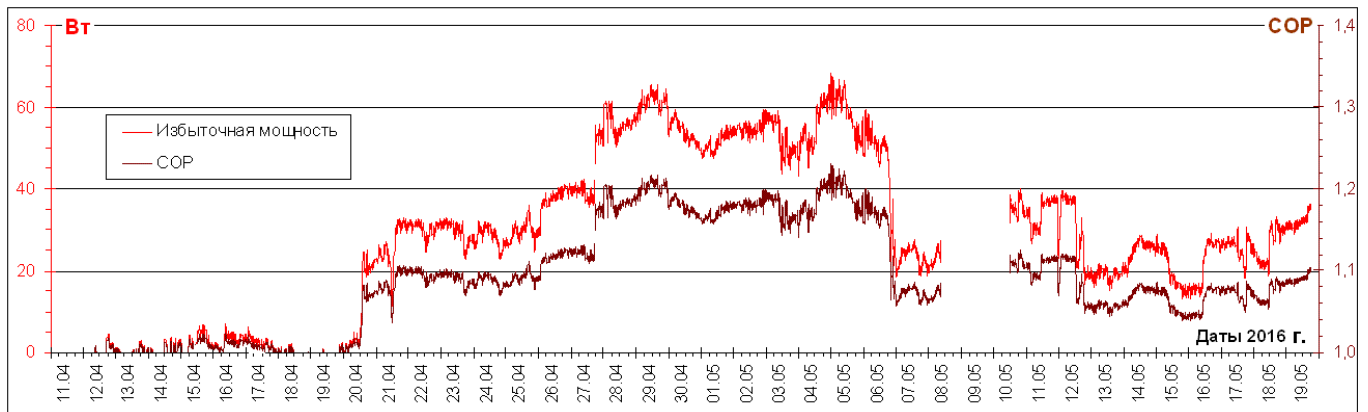


Рис. 8. Изменение избыточной мощности и отношения мощности выделенного тепла к мощности, потребляемой электронагревателем (COP).



Рис. 9. Расколотая внешняя трубка.

разцам, хотя и несколько отличаются от природного соотношения, между собой отличаются незначительно. Заметного увеличения доли ^{62}Ni за счет снижения доли остальных изотопов, обнаруженного в эксперименте в Лугано [1], [2], нет ни в одном из исследованных образцов. Возможно, что незаметность эффекта связана с тем, что наработка избыточной энергии в Лугано была в 60 раз больше, чем в описываемом реакторе.

V. Выводы

Описана конструкция проточного калориметра с компьютерной регистрацией расхода воды и температуры на входе и выходе. Калибровочные измерения показали, что погрешность измерения мощности тепловыделения не превышает 3%.

В этом калориметре испытано 7 реакторов с топливом на основе никеля и алюмогидрида лития. Один из них проработал 38 суток. Избыточная мощность

Таблица I
ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ НИКЕЛЯ В ИСХОДНОМ И ОТРАБОТАННОМ
ТОПЛИВЕ

	^{58}Ni	^{60}Ni	^{61}Ni	^{62}Ni	^{64}Ni
Топливо, исходное	65.67	27.69	1.29	4.27	1.08
Наружный слой шарика	64.89	28.52	1.24	4.28	1.08
Центр шарика	66.03	27.32	1.30	4.26	1.08
Край топлива	65.47	27.83	1.27	4.35	1.08
Налет на керамике	65.21	28.11	1.36	4.24	1.08
Порошок	66.23	26.67	1.22	4.40	1.08
Природное соотношение	67.85	26.22	1.19	3.66	1.08



Рис. 10. Расколота внутренняя трубка.

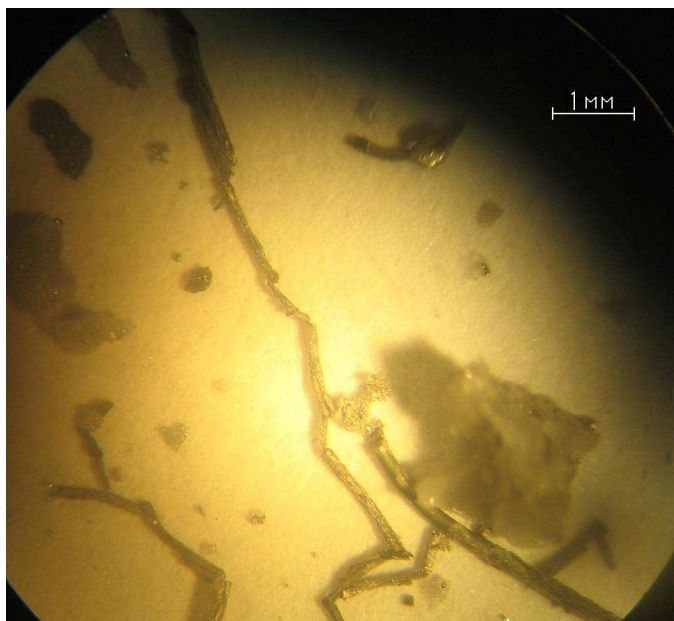


Рис. 11. Фракция, извлеченная магнитом.

этого реактора лежала в пределах 20-65 Вт. Превышение мощности выделяемого тепла над мощностью потребления электроэнергии менялось в пределах от 5 до 20%. Интегральная наработка избыточной энергии на реакторе, проработавшем 38 суток, около 100 МДж (30 кВт-час).

В отработавшем топливе обнаружено многократное возрастание содержания множества изотопов по сравнению с их содержанием исходном топливе (бора, железа, галлия, церия, циркония, стронция, висмута и

многих других).

Заметного изменения изотопного состава никеля в отработавшем топливе по сравнению с исходным не обнаружено.

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. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 2(6):57–61, 2014.
- [3] Пархомов А.Г. Никель-водородные реакторы, созданные после публикации отчета об эксперименте в Лугано. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 4(11):58–62, 2016.
- [4] Пархомов А.Г. Исследование аналога высокотемпературного теплогенератора России. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 3(7):68–72, 2015.
- [5] Степанов И.Н., Малахов Ю.И., Ши Нгуен-Куок. Эксперимент по регистрации избыточного выделения энергии в тепловой ячейке, загруженной смесью порошков никеля и алюминидрида лития. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 3(9):90–93, 2015.
- [6] *Физические величины. Справочник. Под редакцией Григорьева И.С. и Мейлизова Е.З.* Энергоатомиздат, М., 1991. 1232 с.