

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
НИКЕЛЬ – ВОДОРОДНЫХ РЕАКЦИЙ С  
АНОМАЛЬНО ВЫСОКИМ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЕМ**

*Алабин К.А.  
Андреев С.Н.  
Забавин С.Н.  
Пархомов А.Г.  
Соболев А.Г.  
Тимербулатов Т.Р*

**Опытно-конструкторская лаборатория К.И.Т.**

# **ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НИКЕЛЕМ, НАСЫЩЕННЫМ ВОДОРОДОМ**

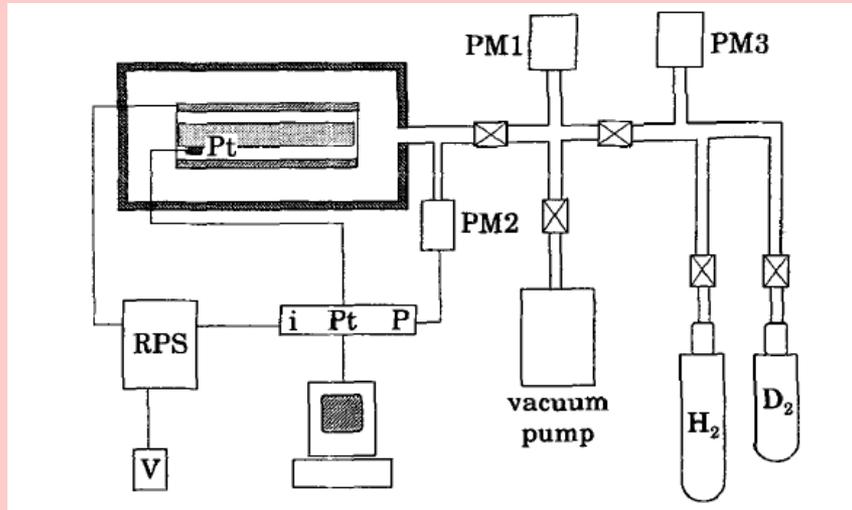
**Начиная с 1992 г, на физическом факультете университета в Сиене (Италия) группой исследователей во главе с Франческо Пиантелли были проведены эксперименты, в которых было обнаружено аномально большое выделение тепла при взаимодействии никеля с водородом. Результаты этих исследований были опубликованы в престижном научном журнале «Nuovo Cimento»**

**Focardi S., Habel R. and Piantelli F.** Anomalous Heat Production in Ni-H Systems *Nuovo Cimento*, 1994, vol. 107 A, N.1, p. 163 - 167.

**Focardi S., Gabbani V., Piantelli F., et al.** – Large excess heat production in Ni-H systems. – *Nuovo Cimento*, 1998, vol. 111 A, N. 11, p. 1233 - 1242.

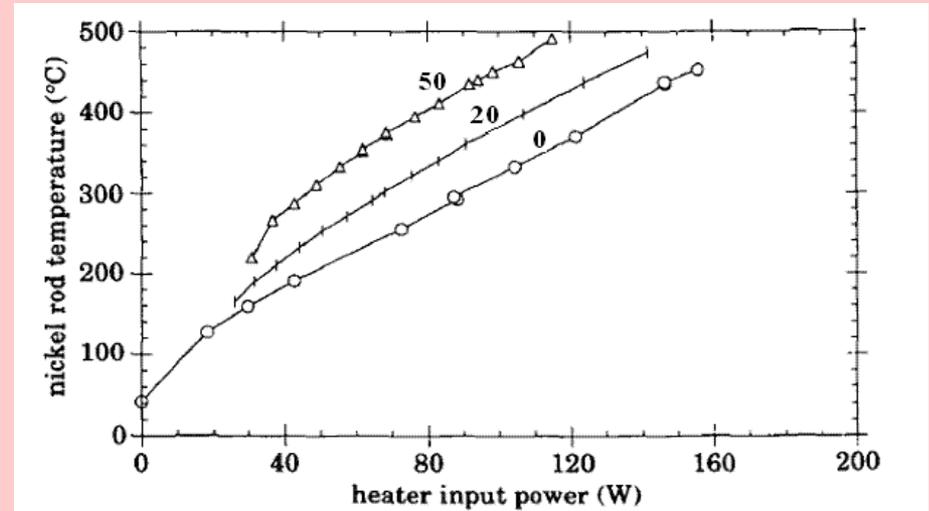
**Battaglia A., Daddi L., Focardi S., et al.** – Neutron emission in Ni-H systems. *Nuovo Cimento*, 1999, vol. 112 A, N.9, 921-931.

# Эксперименты итальянских физиков



**Схема установки для насыщения никеля водородом и исследования тепловыделения.** Циклически проводили откачку и наполнение камеры водородом (естественная смесь протия и дейтерия) до давления около 0,55 бар при температуре 440°C. В одном из циклов откачки – наполнения температура неожиданно поднялась с 440 до 480 °С при неизменной мощности электронагрева.

*К электронагреву стало добавляться тепло мощностью около 20 Вт. После нескольких дополнительных циклов избыточная мощность достигла 50 Вт.*



**Температура стержня в зависимости от мощности электронагрева при разных величинах аномального энерговыделения.**

*Одинаковая температура никелевого стержня, насыщенного водородом, достигается при мощности примерно в два раза меньшей, чем при использовании никеля, не насыщенного водородом*

**Работа установки продолжалась непрерывно 24 суток при средней избыточной мощности 44 Вт. Всего за это время было выработано около 90 МДж тепловой энергии сверх затраченной электроэнергии.**

Более совершенная установка, дававшая 68 Вт избыточной мощности, проработала 278 суток, произведя около 900 МДж тепла сверх затраченной электроэнергии. Другая, вырабатывавшая 18 Вт избыточной мощности, проработала 319 суток, произведя около 600 МДж тепла сверх затраченной электроэнергии. **Столько тепла выделяется при сгорании более 10 кг нефтепродуктов.**

***Заметим, что масса водорода, поглощенного никелем и частично прореагировавшего, меньше 100 мг.***

После работы одного из реакторов поверхность никелевого образца была подвергнута анализу при помощи сканирующего электронного микроскопа. Было обнаружено наличие хрома и марганца, присутствие которых до пребывания в реакторе не было заметно.

Для выяснения радиационной обстановки около реактора были проведены исследования с привлечением специалистов в области регистрации ядерных излучений. При избыточной мощности тепловыделения 22 - 38 Вт было зарегистрировано нестабильное излучение до 6000 нейтронов в секунду.

*Это в  $10^{11}$  раз меньше, чем должно было бы испускаться, если бы избыточная мощность вызывалась известными механизмами ядерных реакций.*

Возможное гамма излучение регистрировалось сцинтилляционным, а также полупроводниковым детекторами. Обнаружено излучение с энергией около 660 кэВ во время насыщения никеля водородом. Когда начиналось избыточное энерговыделение, излучение не наблюдалось.

# ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ АНДРЕА РОССИ



**Андреа Росси и Серджо Фокарди около одной из своих экспериментальных установок**



**Никель-водородный теплогенератор мощностью 10 кВт**



**Теплогенерирующий комплекс мощностью 470 кВт**

# **Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel**

Giuseppe Levi

Bologna University, Bologna, Italy

Evelyn Foschi

Bologna, Italy

Bo Höistad, Roland Pettersson and Lars Tegnér

Uppsala University, Uppsala, Sweden

Hanno Essén

Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

## **ABSTRACT**

New results are presented from an extended experimental investigation of anomalous heat production in a special type of reactor tube operating at high temperatures. The reactor, named E-Cat, is charged with a small amount of hydrogen-loaded nickel powder plus some additives, mainly Lithium. The reaction is primarily initiated by heat from resistor coils around the reactor tube. Measurements of the radiated power from the reactor were performed with high-resolution thermal imaging cameras. The measurements of electrical power input were performed with a large bandwidth three-phase power analyzer. Data were collected during 32 days of running in March 2014. The reactor operating point was set to about 1260 °C in the first half of the run, and at about 1400 °C in the second half. The measured energy balance between input and output heat yielded a COP factor of about 3.2 and 3.6 for the 1260 °C and 1400 °C runs, respectively. The total net energy obtained during the 32 days run was about 1.5 MWh. This amount of energy is far more than can be obtained from any known chemical sources in the small reactor volume.

A sample of the fuel was carefully examined with respect to its isotopic composition before the run and after the run, using several standard methods: XPS, EDS, SIMS, ICP-MS and ICP-AES. The isotope composition in Lithium and Nickel was found to agree with the natural composition before the run, while after the run it was found to have changed substantially. Nuclear reactions are therefore indicated to be present in the run process, which however is hard to reconcile with the fact that no radioactivity was detected outside the reactor during the run.

# Реактор Росси в Лугано



Зарегистрировано превышение тепловыделения над потребленной электроэнергией в 3,2 раза при температуре 1250 °С и в 3,6 раза при температуре 1400 °С.

В отработавшем топливе существенно возросло относительное содержание  ${}^6\text{Li}$  и снизилось содержание  ${}^7\text{Li}$ . Сильно снизилось содержание всех изотопов никеля, кроме  ${}^{62}\text{Ni}$ .

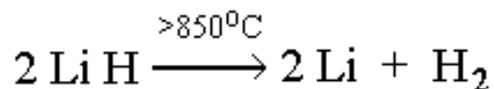
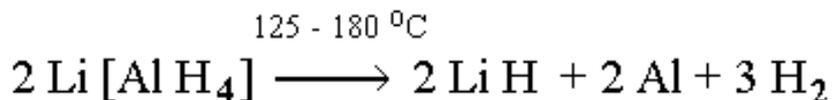
*Заметного отличия радиационной обстановки от фоновых показаний не обнаружено.*

**Устройство весом 450 г, содержавшее 1 г топлива, непрерывно работало в течение месяца. По оценкам экспертов, выделилось 5800 МДж или 1,6 МВт-час тепловой энергии. Чтобы выделить столько энергии, необходимо сжечь более чем 100 кг нефти.**

На основе отчета экспертов, наблюдавших работу высокотемпературного теплогенератора Росси в Лугано, можно было предположить, что этот реактор, по сути, просто запечатанная жаростойким цементом керамическая трубочка, в которой находится порошок никеля с добавкой алюмогидрида лития. Для инициации процесса трубочку необходимо нагреть до температуры 1200 – 1400 °С.

*Исходя из этого предположения было создано множество устройств в России и за ее пределами.*

# Что происходит внутри реактора Росси



Прежде всего, при нагреве происходит разложение алюмогидрида лития.

*1 г алюмогидрида лития выделяет 0,105 г или 1,17 л водорода (при нормальных условиях)*

Выделившийся водород очищает поверхность никеля от окислов. После этого водород начинает растворяться в никеле.

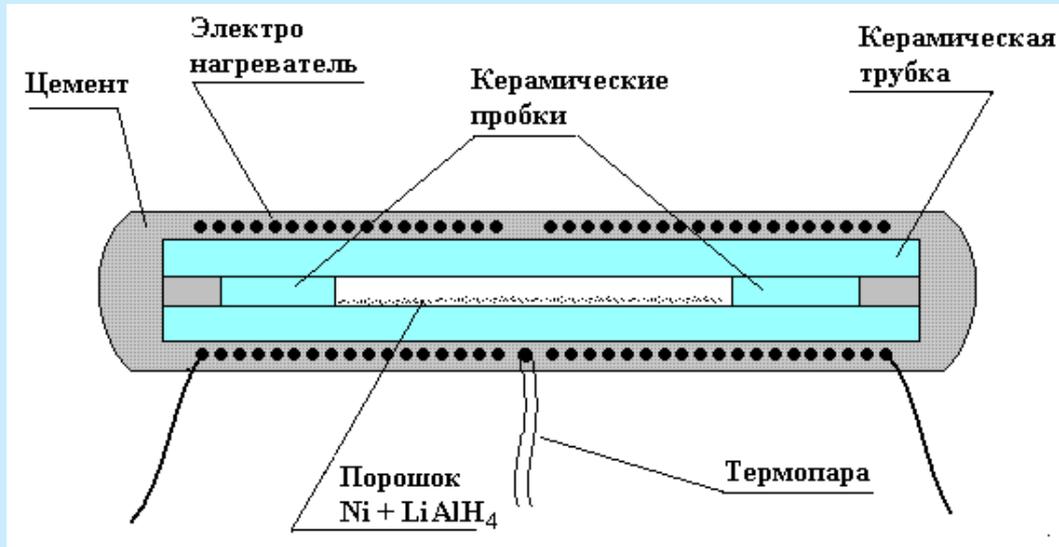
*При температурах, характерных для работающего реактора Росси (1200 -1400°C), насыщенный водородом никель в сплаве с литием и алюминием находится в среде водорода и паров лития и алюминия.*

# Проблемы при создании высокотемпературного реактора

- Нахождение конструктивных материалов, выдерживающих агрессивную среду при высокой температуре и повышенном давлении
- Герметизация при повышенном давлении и высокой температуре
- Создание электронагревателей, длительно работающих при высокой температуре
- Нахождение способов надежного измерения высокой температуры
- Разработка способов контроля мощности работающего реактора
- Медленность процессов очистки поверхности никеля и насыщения его водородом

# Конструкция реактора АП1

о котором было доложено 25 декабря 2014 на семинаре в РУДН



Для изготовления реакторов использованы трубки из керамики  $Al_2O_3$

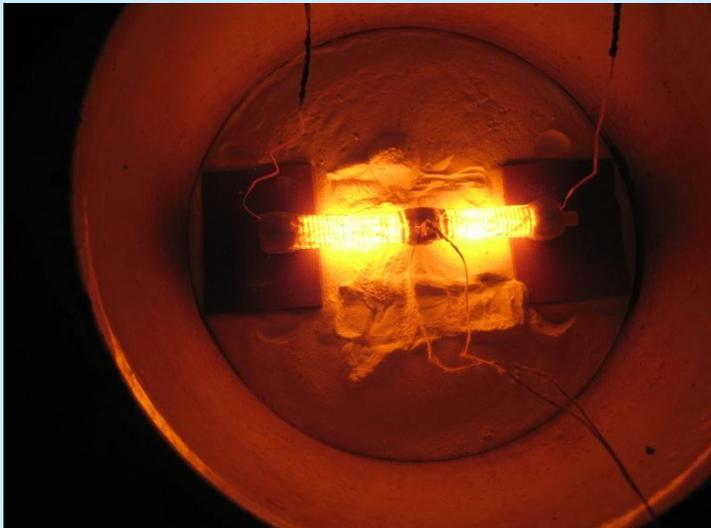
На трубку намотаны электронагреватели.

Внутри трубки находится 1 г порошка Ni + 10% Li [AlH<sub>4</sub>].

С наружной поверхностью трубки контактирует термопара.

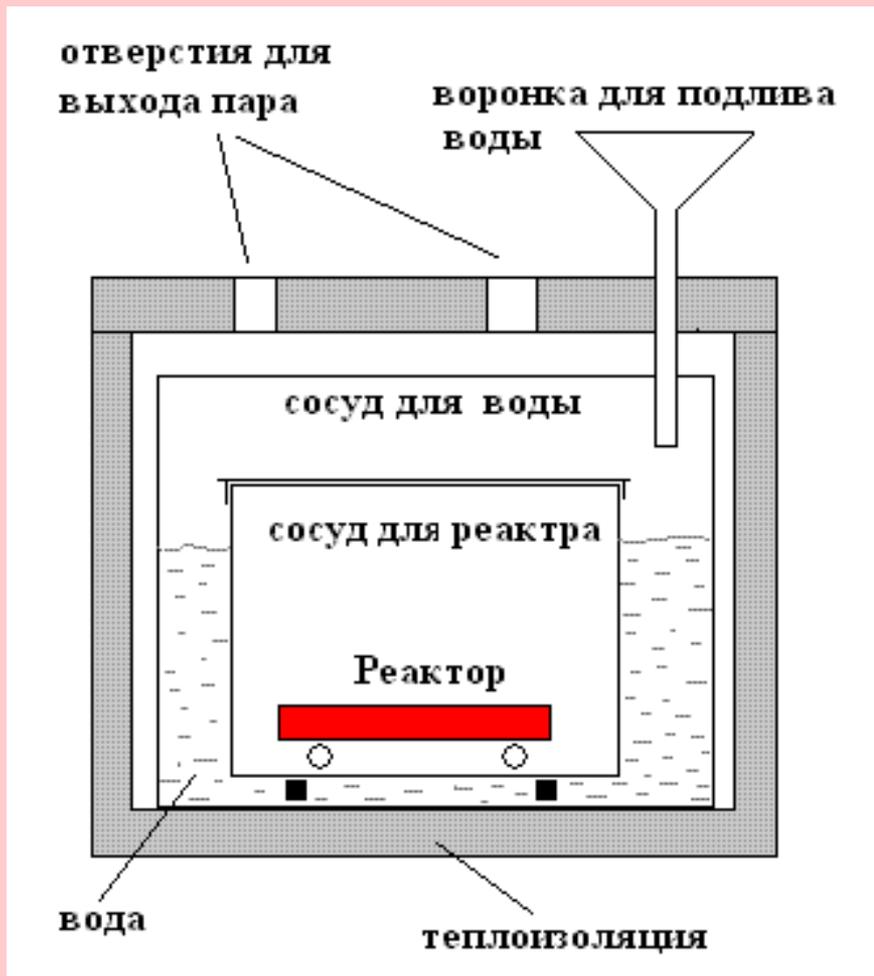
Концы трубки запечатаны жаростойким цементом.

Таким же цементом покрыта вся поверхность реактора.



**Реактор во время работы**

# Измерение выделяющегося тепла



В данном эксперименте использована методика, основанная на измерении количества выкипающей воды.

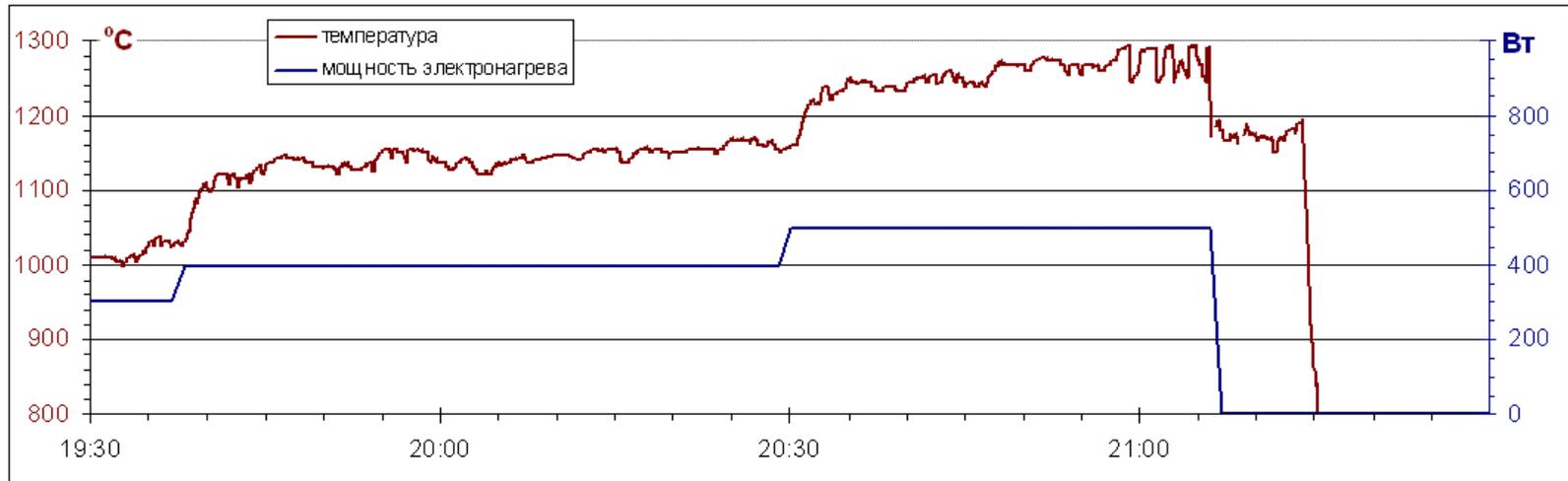
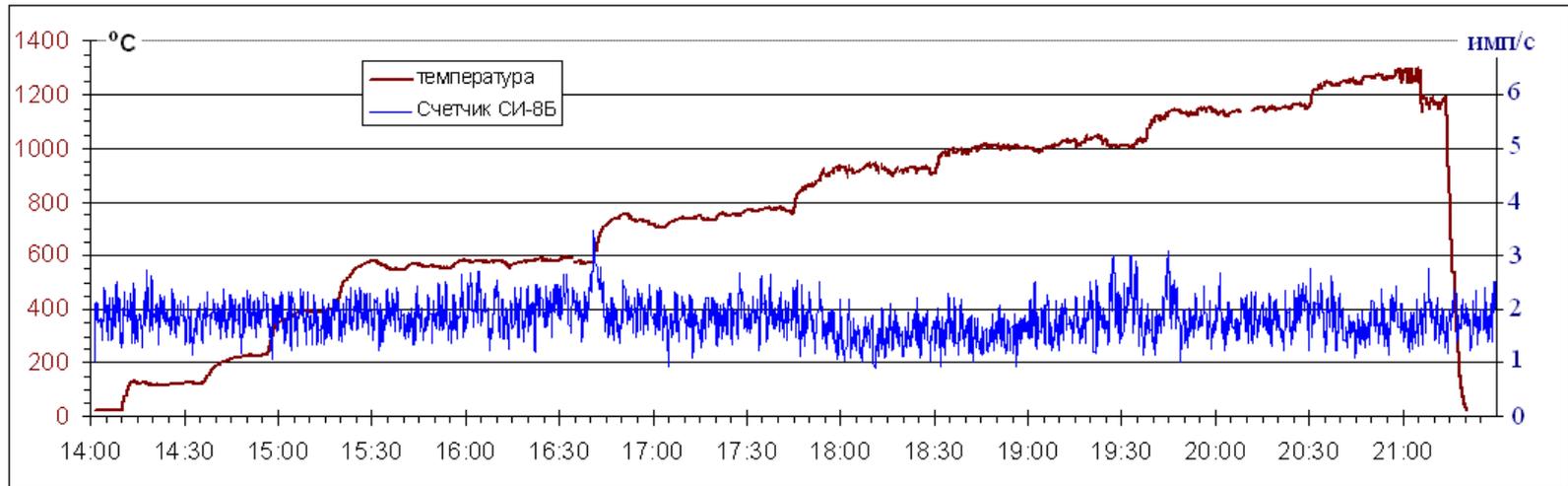
Реактор находится в закрытом металлическом сосуде.

Этот сосуд погружен в воду.

Часть воды уходит в виде пара.

Измерив убыль воды, по известной величине теплоты парообразования ( $2260 \text{ кДж/кг}$ ) нетрудно вычислить выделившееся тепло.

Поправку на потерю тепла через теплоизоляцию можно рассчитать по скорости охлаждения после выключения реактора.



## Реактор с топливом

Дата	Темпер °С	Длит мин	Потр Вт	Произв Вт	COP
20.12.2014	970	38	301	297	0,99
20.12.2014	1150	50	395	758	1,92
20.12.2014	1290	40	499	1365	2,74
04.01.2015	940	131	304	305	1,00
04.01.2015	1020	75	377	407	1,08
10.01.2015	1080	73	161	284	1,77
18.01.2015	800	90	308	293	0,95
18.01.2015	1080	38	78	135	1,73

## Реактор без топлива

Дата	Темпер °С	Длит мин	Потр Вт	Произв Вт	COP
02.01.2015	210	56	211	227	1,07
02.01.2015	470	88	433	414	0,95
02.01.2015	1050	16	928	1035	1,12
21.01.2015	1000	69	297	296	1,00
21.01.2015	1080	43	306	297	0,97
28.01.2015	900	65	95,5	105	1,08
28.01.2015	1100	66	116	116	1,00
28.01.2015	1200	50	151	147	0,97

В таблицах показаны результаты, полученные в проведенных экспериментах.

Помимо экспериментов с реакторами, загруженными смесью Ni+Li[AlH<sub>4</sub>], 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 близко к 1.

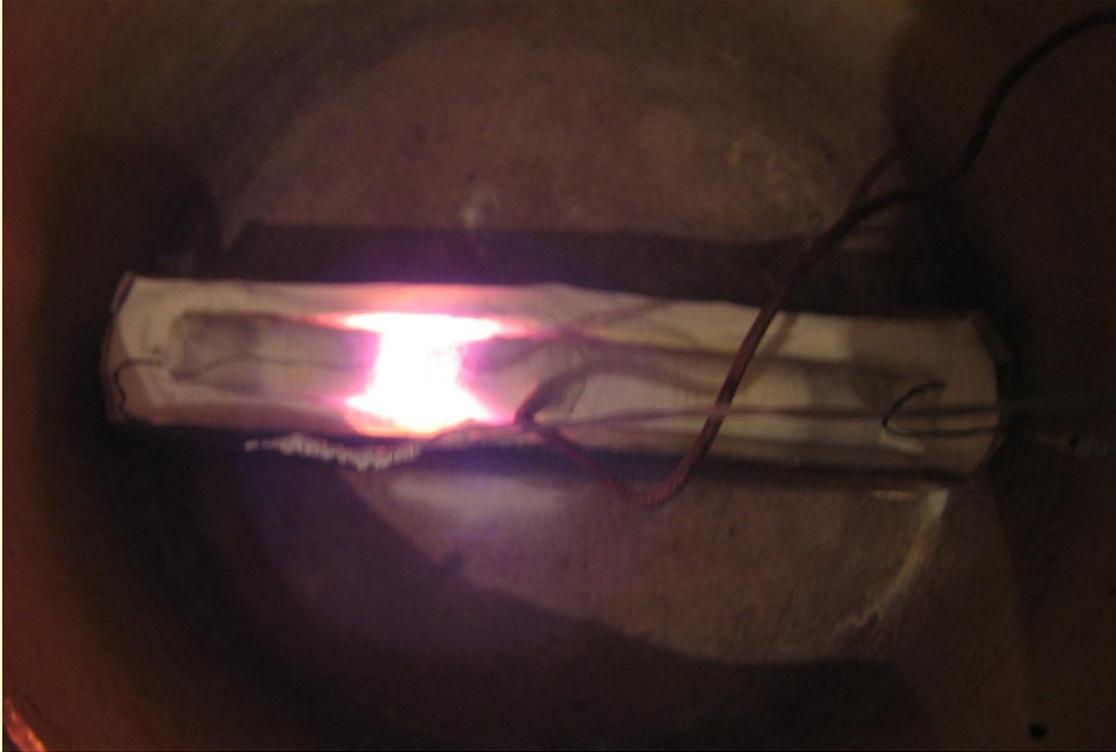
**Существенное превышение выделившейся тепловой энергии над поглощенной электроэнергией наблюдалось только у реакторов с топливом при температурах около 1100 °С и выше.**

## Выводы по серии экспериментов в декабре 2014 - январе 2015

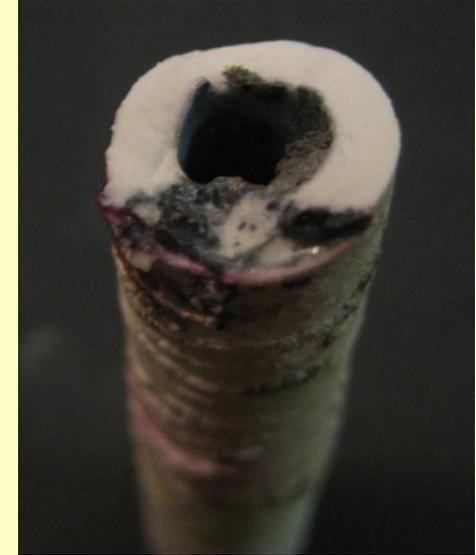
Эксперименты с аналогом высокотемпературного теплогенератора Росси, загруженным смесью никеля и алюмогидрида лития, показали, что при температурах порядка 1100 °С и выше это устройство действительно производит энергии больше, чем потребляет.

Уровень ионизирующих излучений во время работы реактора не превышает заметно фоновые показатели. Плотность потока нейтронов не выше 0,2 нейтр/см<sup>2</sup> с

# Проблема неконтролируемых локальных перегревов



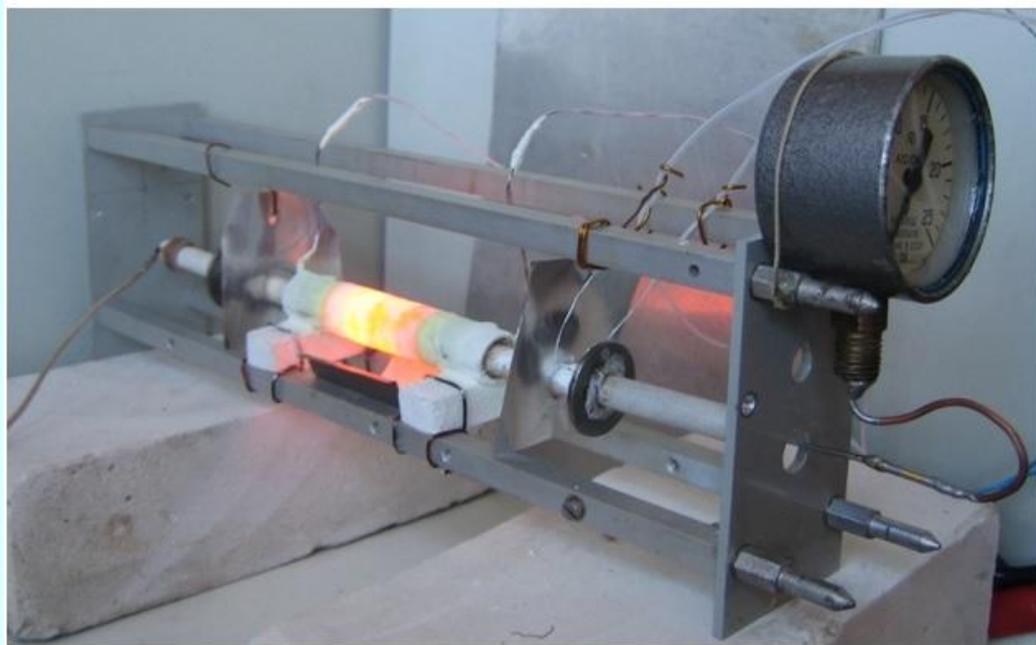
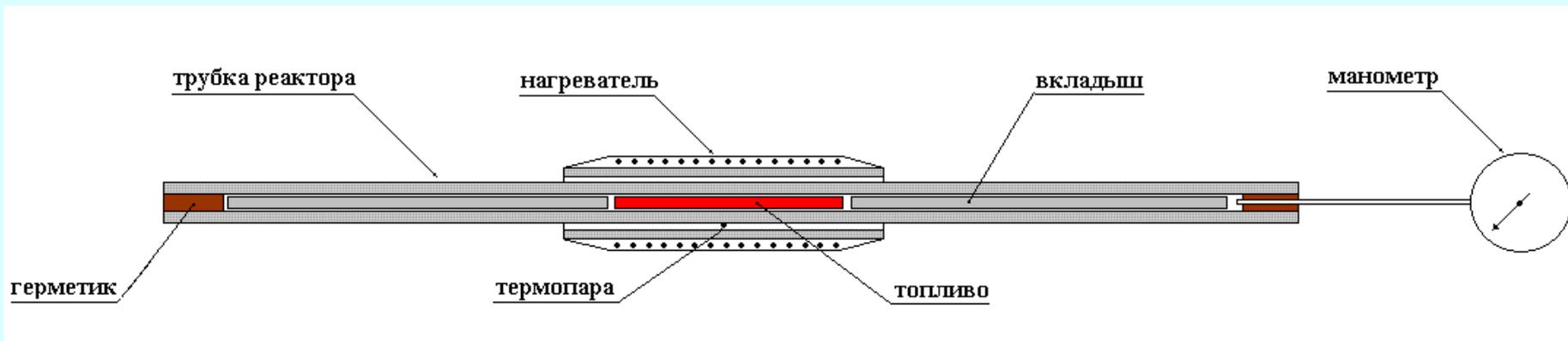
Локальный перегрев, приводящий к разрушению реактора.



Главная проблема – кратковременность работы реакторов, связанная с разрушениями, вызываемыми локальными перегревами.

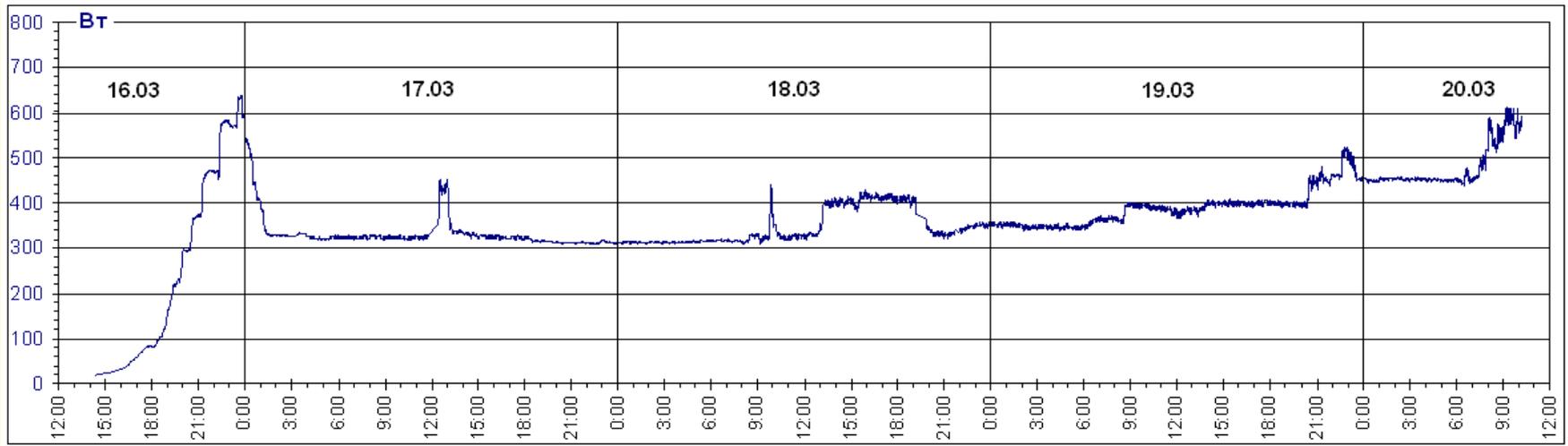
# Устройство реактора АП2

о котором было доложено в апреле 2015 г.  
на конференции ICSSF-19 в Падуе (Италия)



Топливная смесь (640 мг  
 $\text{Ni} + 60 \text{ мг LiAlH}_4$ )  
находится в контейнере из  
тонкой нержавеющей  
стали.

# Мощность электронагревателя на протяжении 4 суток



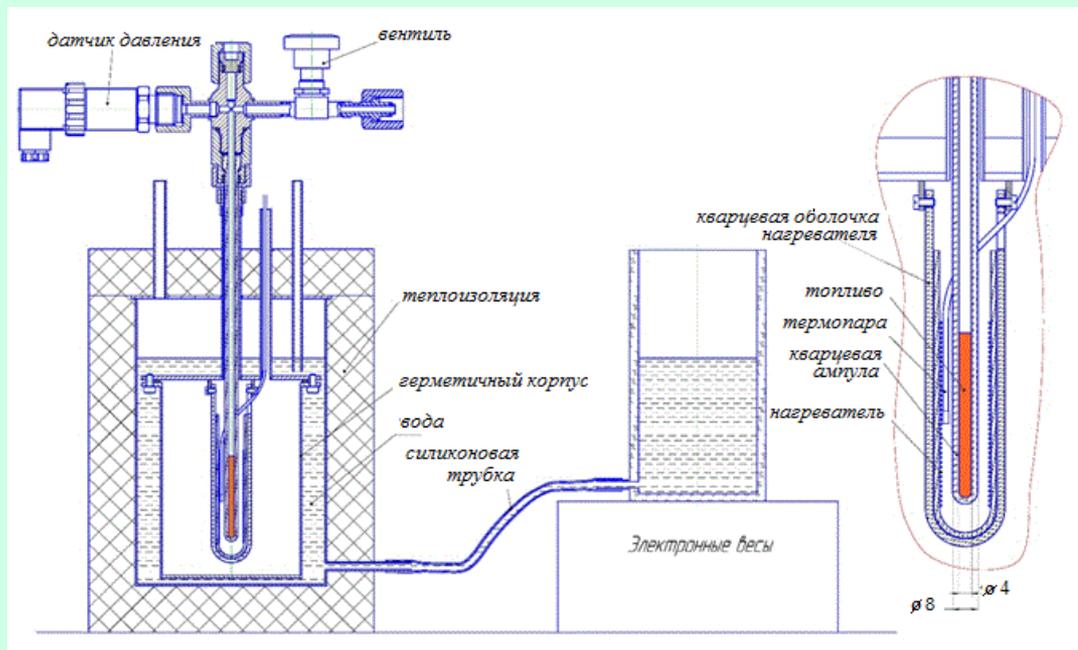
Температура  $1200^{\circ}\text{C}$  на поверхности трубки реактора была достигнута за 12 часов в результате постепенного увеличения мощности электронагревателя до 630 Вт. После этого приблизительно за 1 час требующаяся для поддержания температуры  $1200^{\circ}\text{C}$  мощность снизилась до 330 Вт.

На протяжении почти 3 суток мощность электронагревателя, при которой температура на поверхности трубки реактора  $1200^{\circ}\text{C}$ , лежала в пределах 300 - 400 Вт. Незадолго до перегорания нагревателя мощность начала расти и в момент перегорания достигла 600 Вт.

***Мощность тепловыделения превышала потребляемую электронагревателем в 2,4 раза. Всего сверх затраченной электроэнергии произведено более 40 кВт-час или 150 МДж.***

# Эксперименты Евгения Буряка

## ВНИИЭФ г. Саров. Март-май 2015



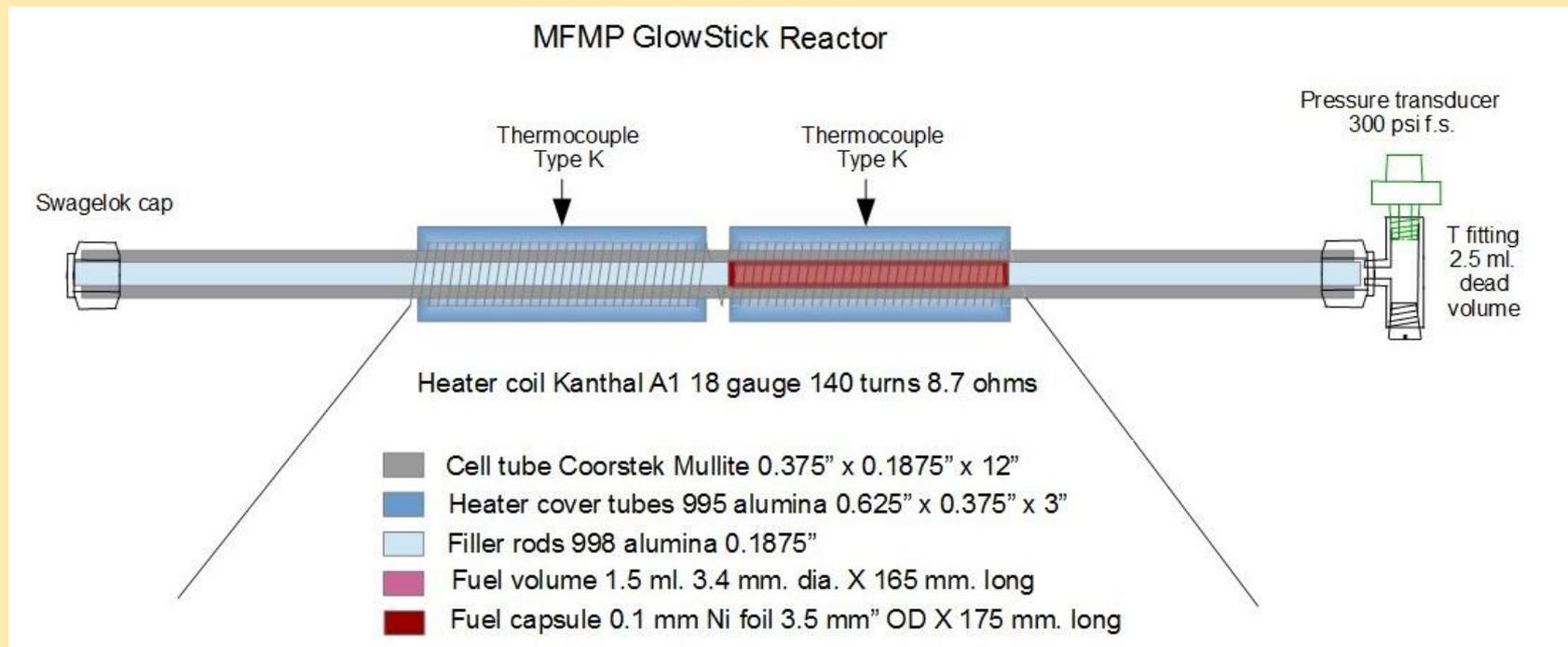
*Нагрев со скоростью  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{с}$  происходил до достижения температуры 1000 или  $1200^{\circ}\text{C}$ , далее около часа температура удерживалась стабильной.*

*При температуре  $1000^{\circ}\text{C}$  мощность избыточного тепловыделения 42 Вт ( $\text{COP}=1,21$ ), при температуре  $1200^{\circ}\text{C}$  избыточная мощность 83 Вт ( $\text{COP}=1,25$ ).*

Топливо ( $500\text{мг Ni} + 50\text{мг LiAlH}_4$ ) находится в контейнере из нержавеющей стали, помещенном в кварцевую ампулу. Нихромовый нагреватель питается импульсами длительностью  $0,76\text{ мс}$ , мощность регулируется частотой импульсов. Определение выделяющегося тепла осуществляется путем измерения массы испарившейся воды.

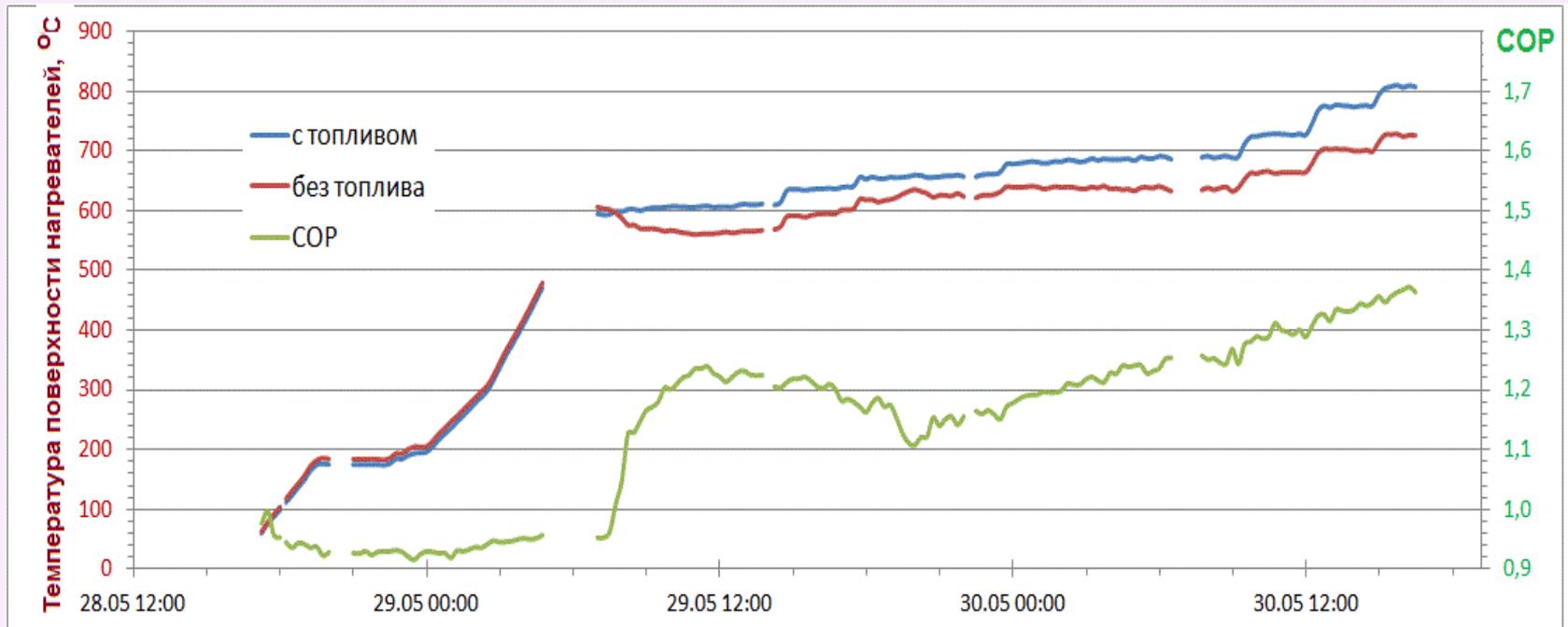
# Проект GlowStick

## *Alan Goldwater*



Реактор состоит из керамической трубки, на которой размещены два одинаковых соединенных последовательно электронагревателей. Один из них греет топливную смесь ( $\text{Ni}$  300 мг +  $\text{LiAlH}_4$  30 мг), а другой нагревает пустой участок трубки. При наличии избыточного тепловыделения температура части реактора с топливом должна быть больше части без топлива.

# GlowStick 3



Изменение температуры в ходе эксперимента 28-30 мая 2015. При температуре на поверхности реактора больше 600°C (около 1000°C внутри ячеек) температура ячейки с топливом существенно выше 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*

# Songsheng Jiang

*Ni-H Research Group*

*China Institute of Atomic Energy, Beijing, China, 4-8 мая 2015*



**Топливо ( $\text{Ni} + 10\% \text{LiAlH}_4$ ) массой 20 г находится в ячейке из никеля, размещенной в камере из нержавеющей стали. Нагреватель, окруженный теплоизоляцией, питается от стабилизированного источника постоянного тока.**

При постепенном нагреве в результате разложения  $\text{LiAlH}_4$  давление возросло до 4 бар. В дальнейшем давление на протяжении 18 часов упало до 0,9 бар.

Когда температура *внутри ячейки* с топливом достигла  $950^\circ\text{C}$  температура быстро поднялась настолько, что центральная термопара разрушилась. Температура *на поверхности* ячейки превысила  $1370^\circ\text{C}$  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.

# Эксперименты Ю.Малахова, Нгуен Куок Ши (МЭИ) И.Степанова (МГУ)



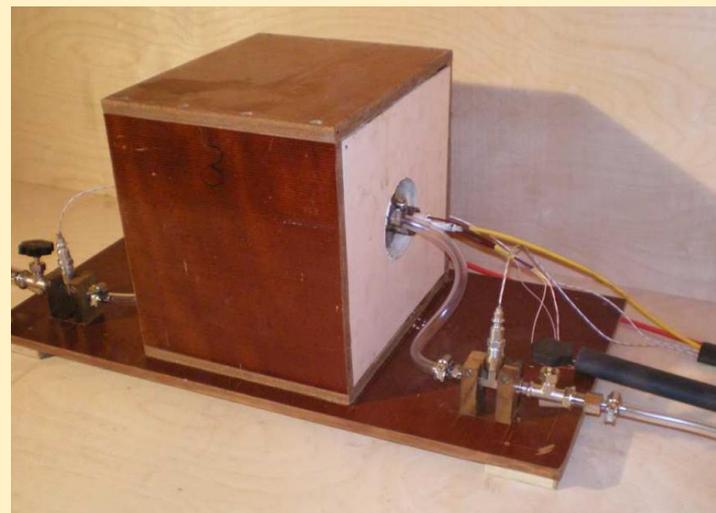
Керамическая трубка с топливом и термопарами, запечатанная жаростойким цементом.



Электронагреватель  
(керамические  
трубки, фехраль)

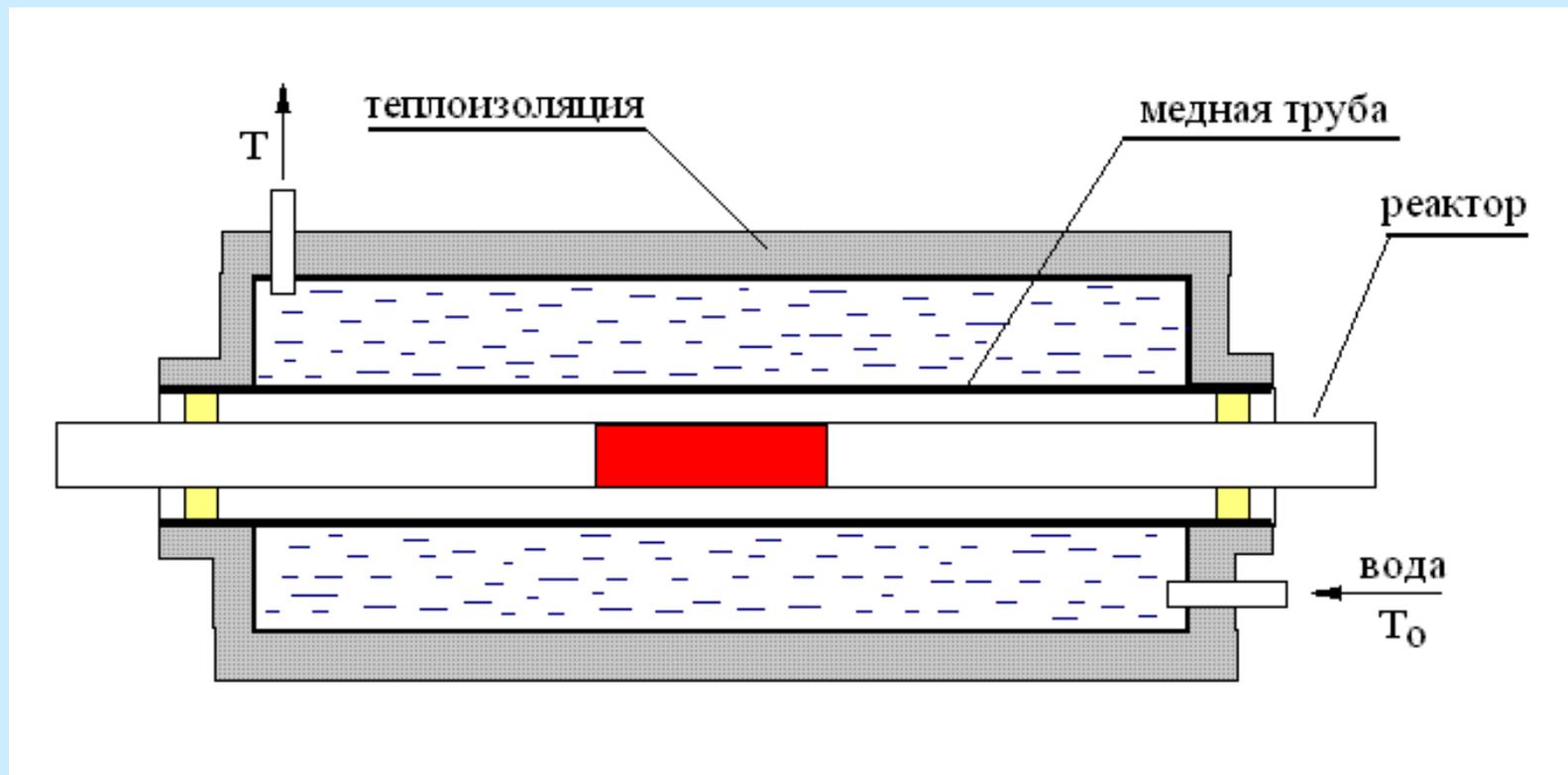


Проточный калориметр без  
теплоизоляции



Установка в  
собранном виде

# Устройство проточного калориметра



Мощность тепловыделения  $W = c(dm/dt)(T-T_0)(1+\alpha)$

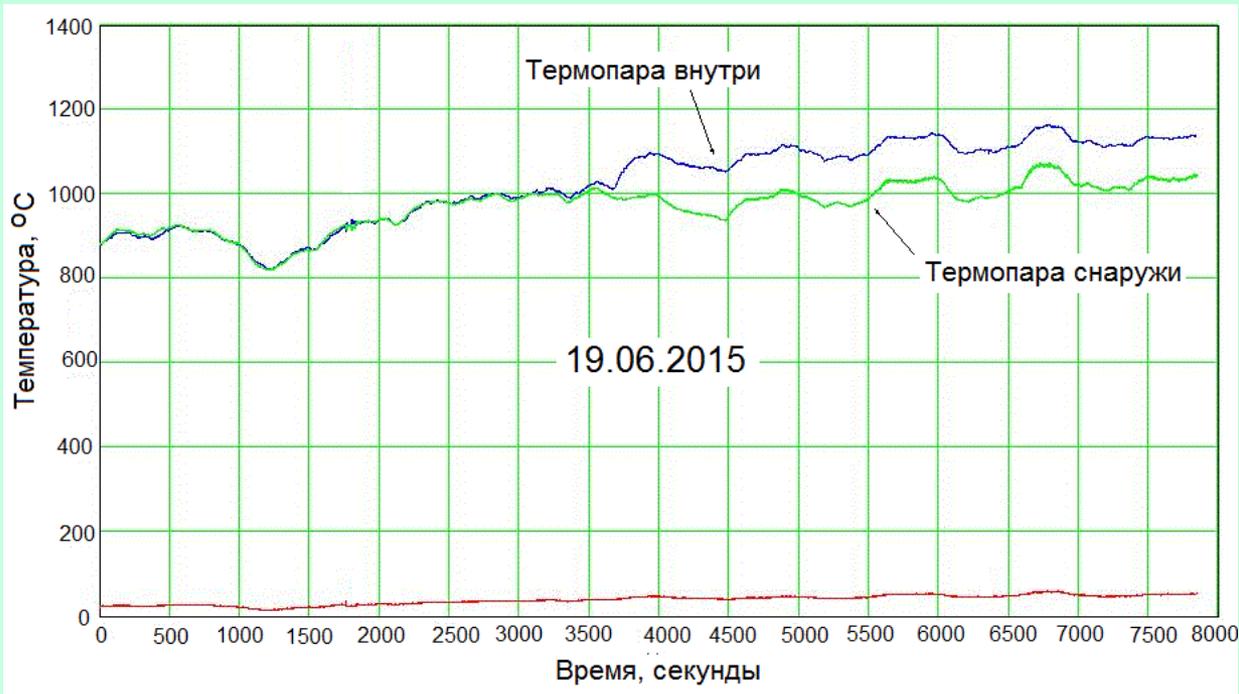
$c$  – удельная теплоемкость воды,

$(dm/dt)$  – масса воды, протекающей в секунду,

$\alpha$  - поправка на потери тепла,

$T_0$  – температура на входе в калориметр,  $T$  - температура на выходе.

# Эксперименты Ю.Малахова, Нгуен Куок Ши И.Степанова



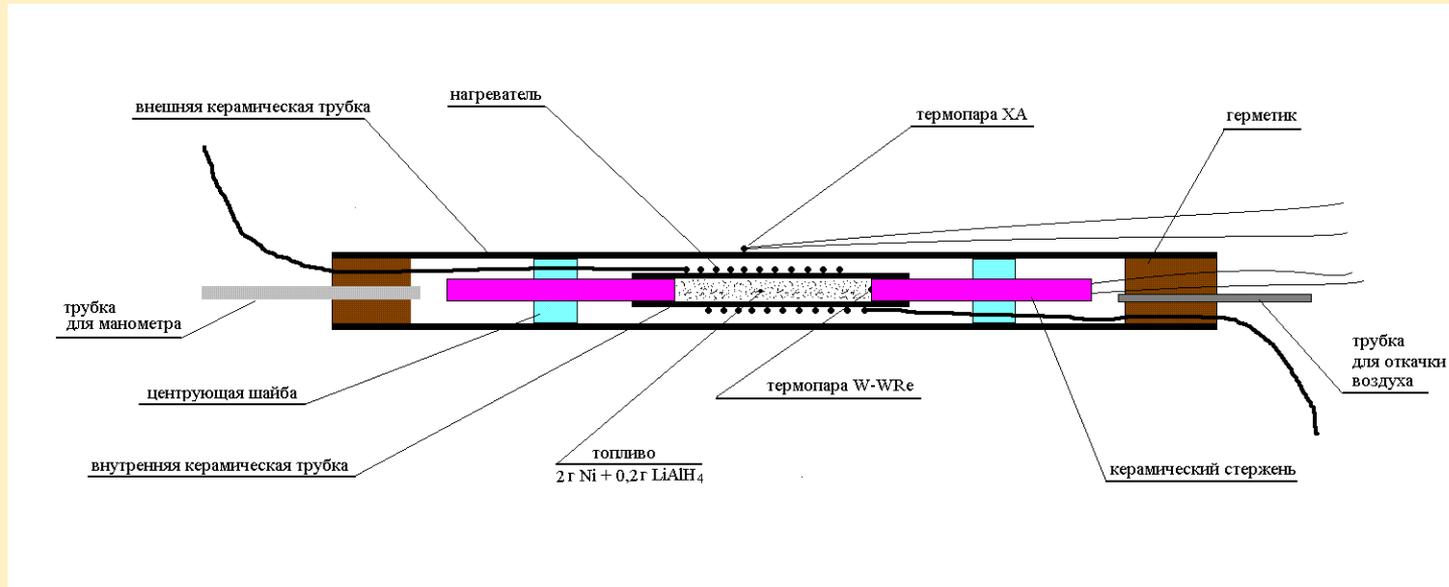
После трех попыток запуска, завершившихся быстрым разрушением ячейки в результате неконтролируемого перегрева, удалось добиться устойчивой работы с выделением избыточной энергии. Это продолжалось более часа при температуре около 1100°C

*Температура внутри и снаружи трубки реактора.*

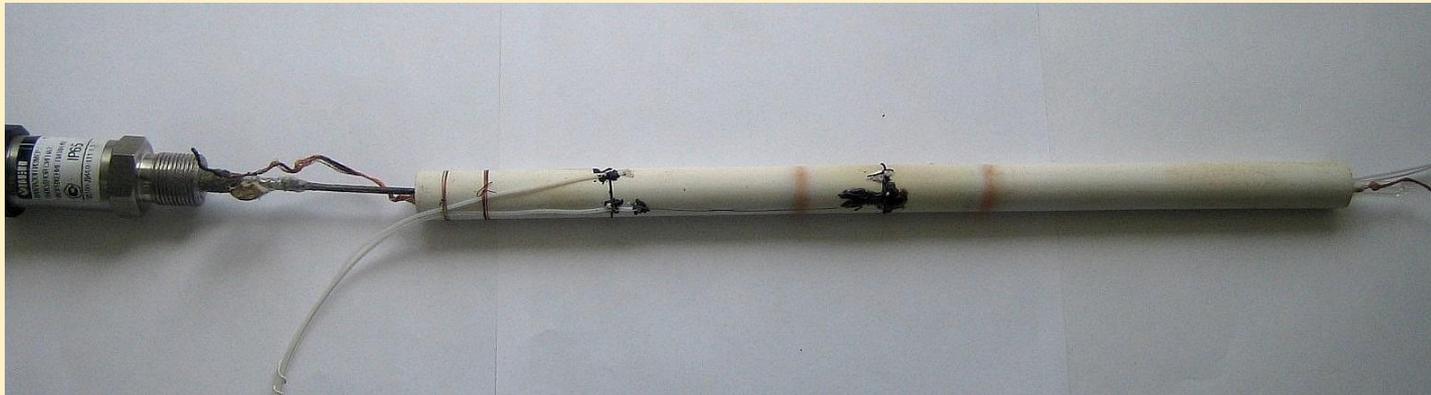
При температуре ниже 1000°C температуры внутри и снаружи реактора примерно одинаковые. При более высокой температуре температура внутри больше, чем снаружи, что указывает на наличие дополнительного тепловыделения.

Калориметрия показала, что выделялось 2100 Вт тепла при подводимой электрической мощности около 850 Вт (COP=2,5)

# Проточный калориметр в ОКЛ КИТ

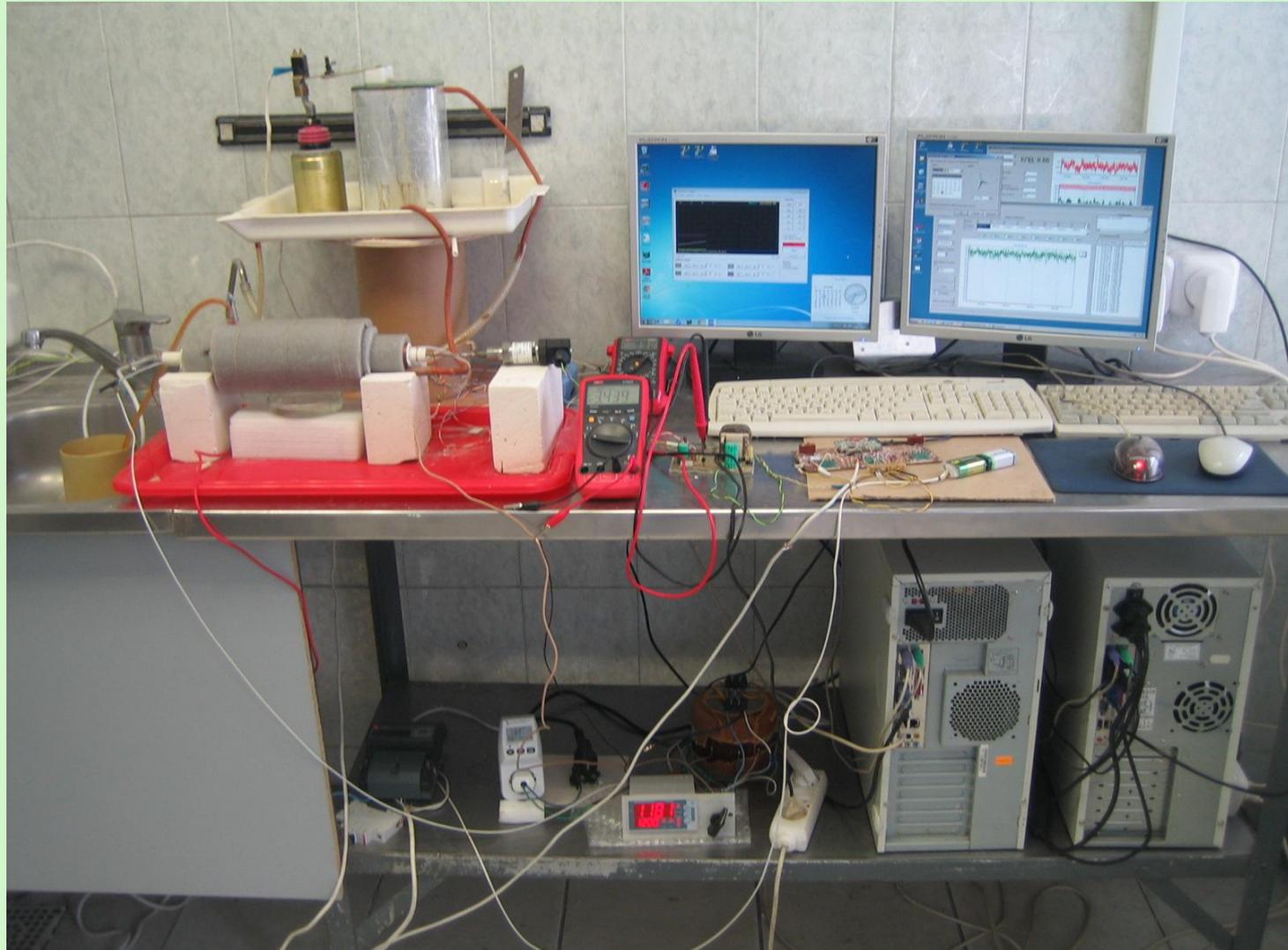


## Конструкция реакторов, испытанных в проточном калориметре

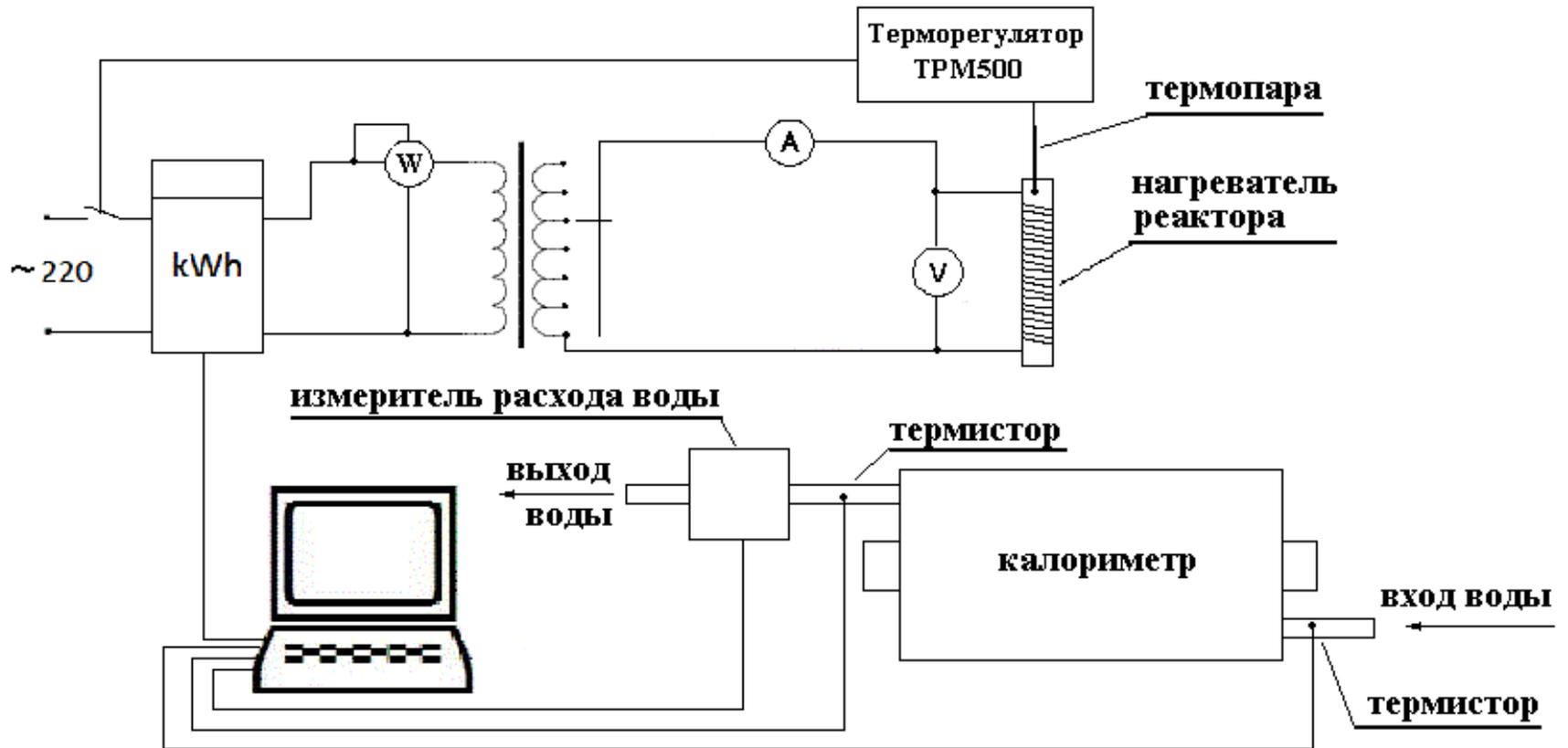


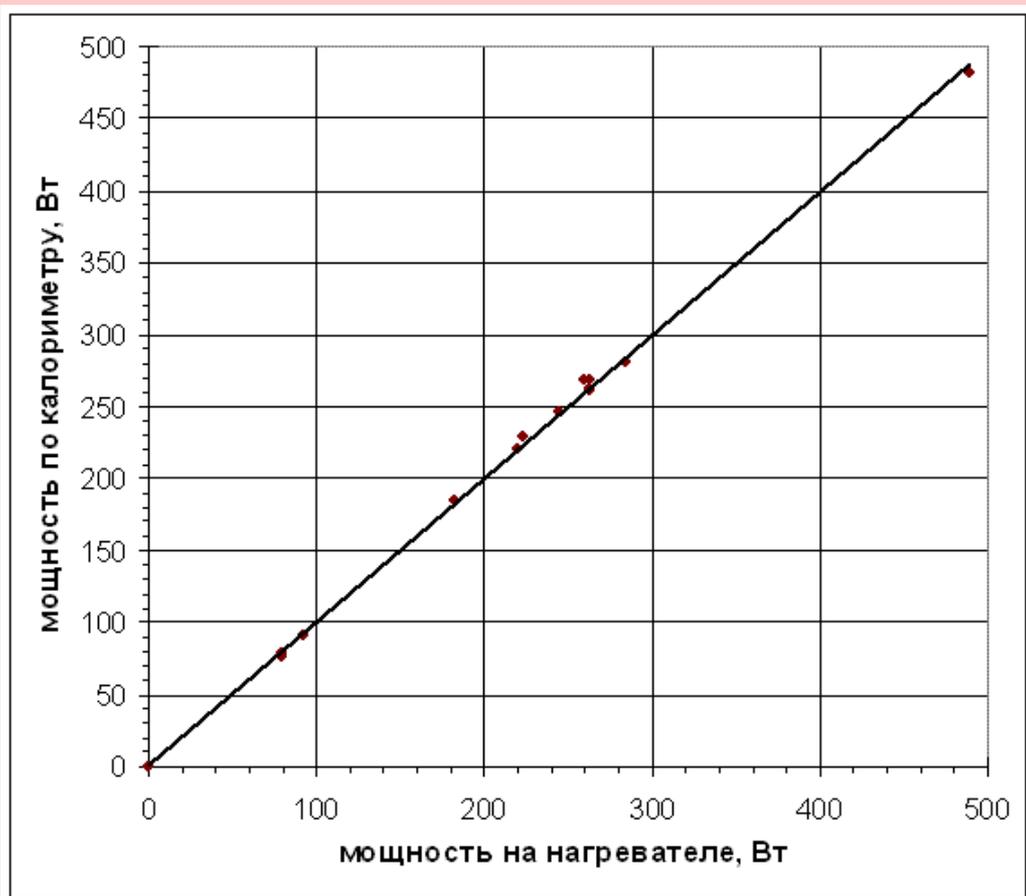
Внешний вид реактора перед установкой в калориметр

# Вид на экспериментальную установку с проточным калориметром



# Схема электропитания и регистрирующей аппаратуры



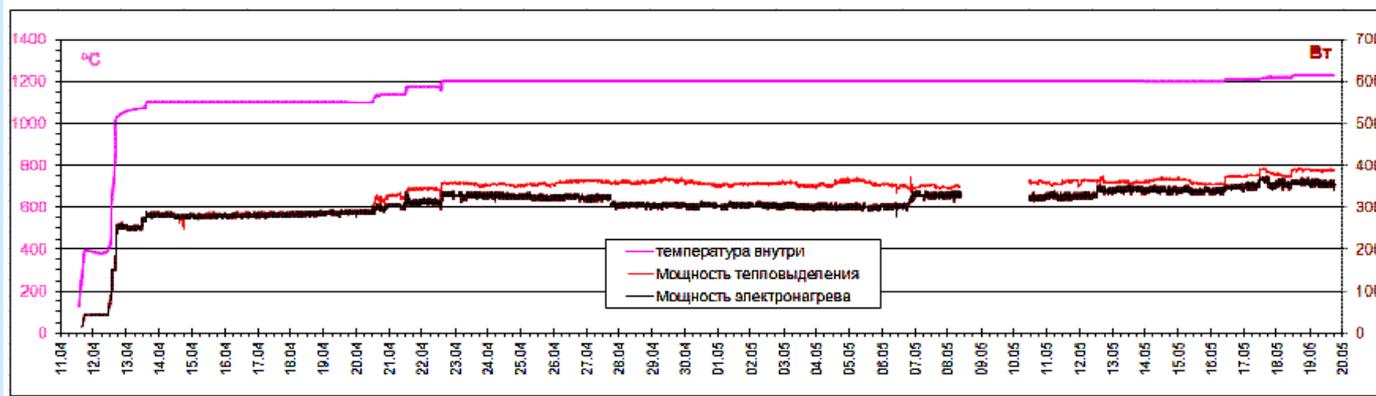


Зависимость мощности, измеряемой проточным калориметром, от мощности на калибровочном электронагревателе.

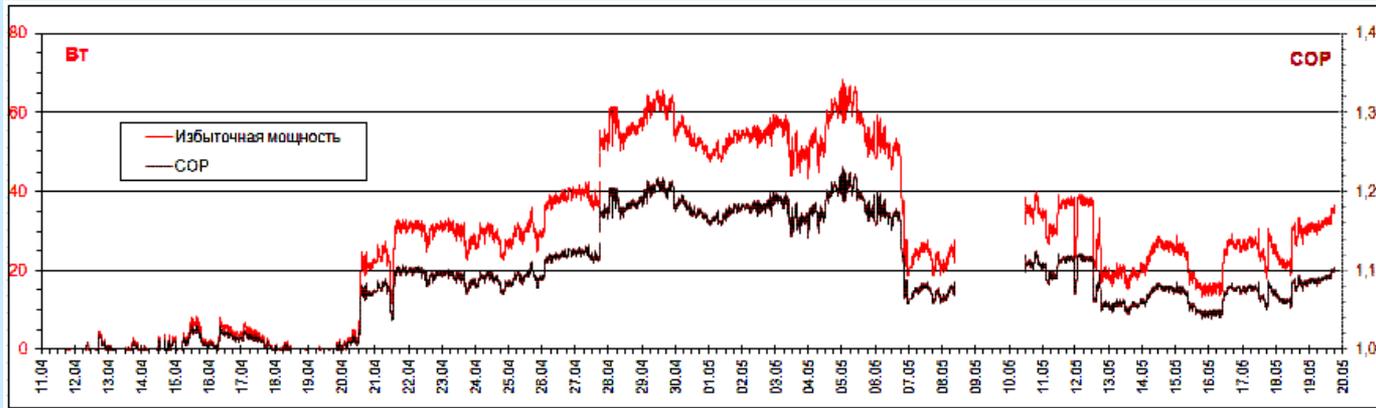
*Коэффициент тепловых потерь  $a = 0,04$*

*Отклонение мощности тепловыделения, измеренной калориметром, от мощности потребляемой калибровочным электронагревателем меньше 3%*

# Реактор «Проток – 6»



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

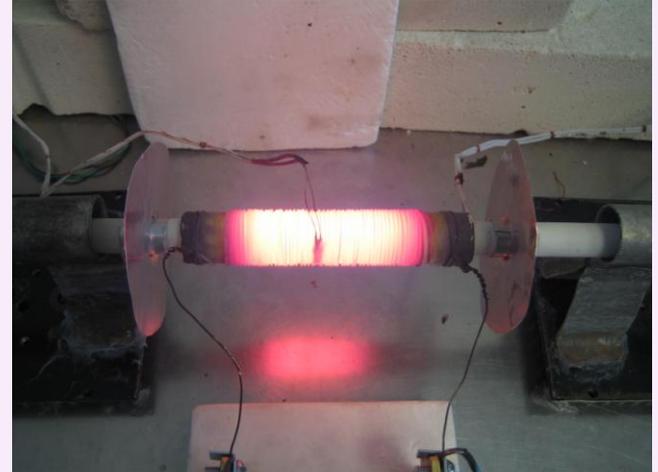
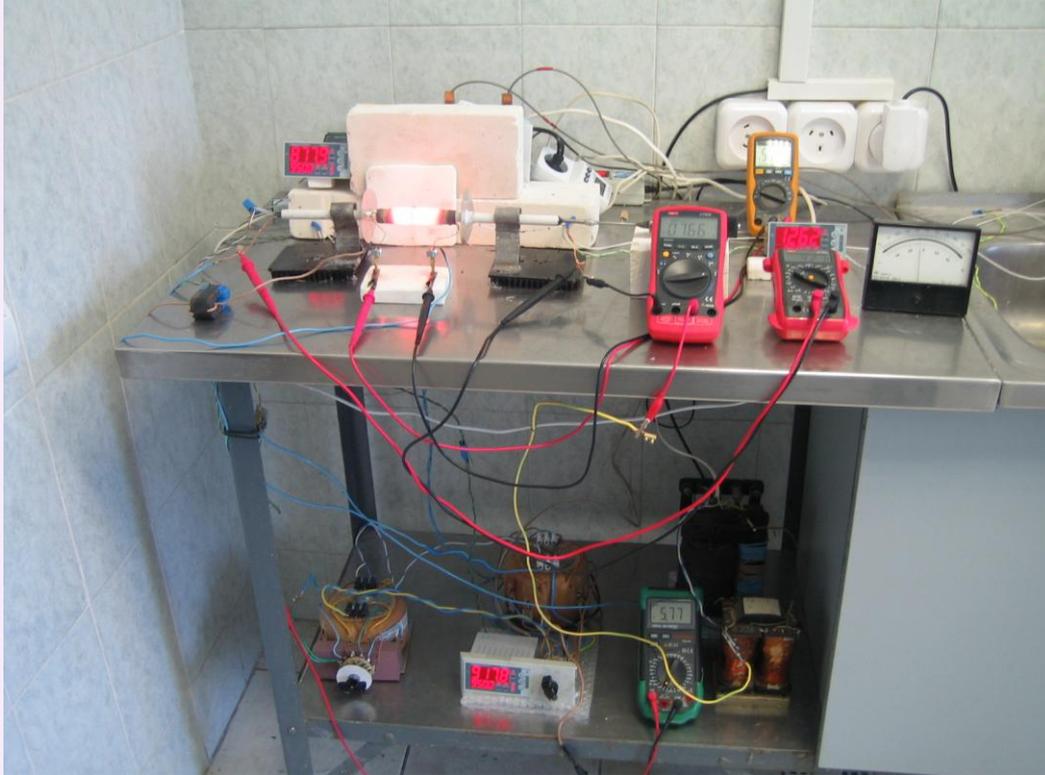


Изменение избыточной мощности и отношения мощности выделенного тепла к потребляемой электронагревателем

*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. Превышение на 30-60 Вт продолжалось 29 суток.*

**Реактор произвел около 100 МДж (28 кВт-час) тепловой энергии сверх затраченной электроэнергии.**

# Реактор ВВЗ



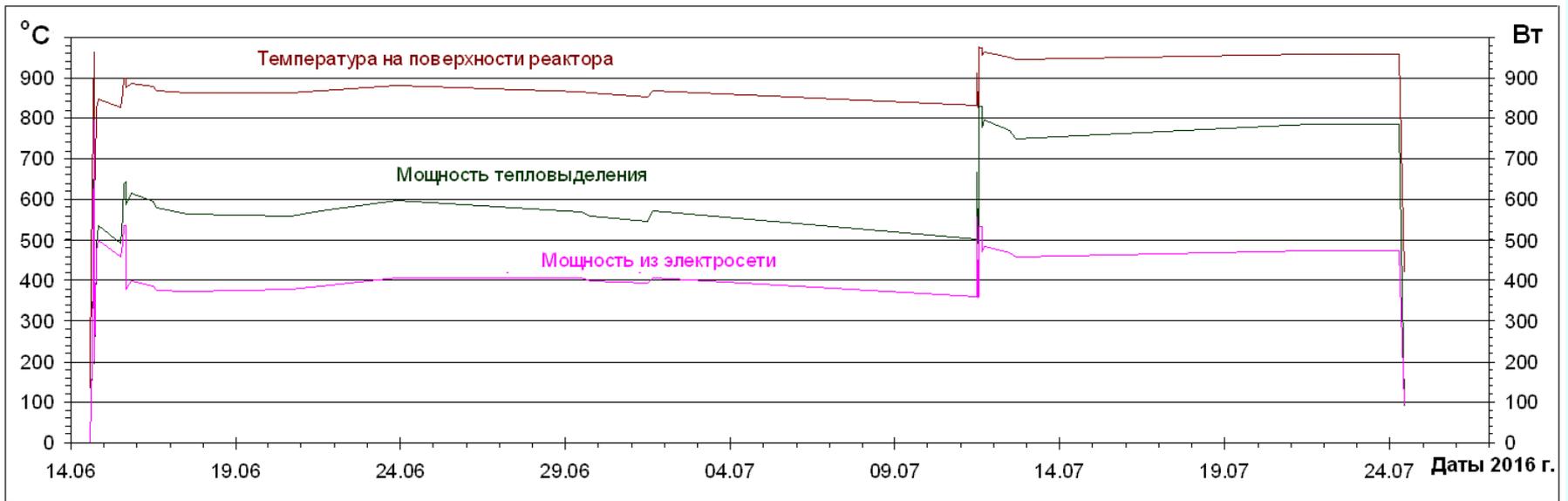
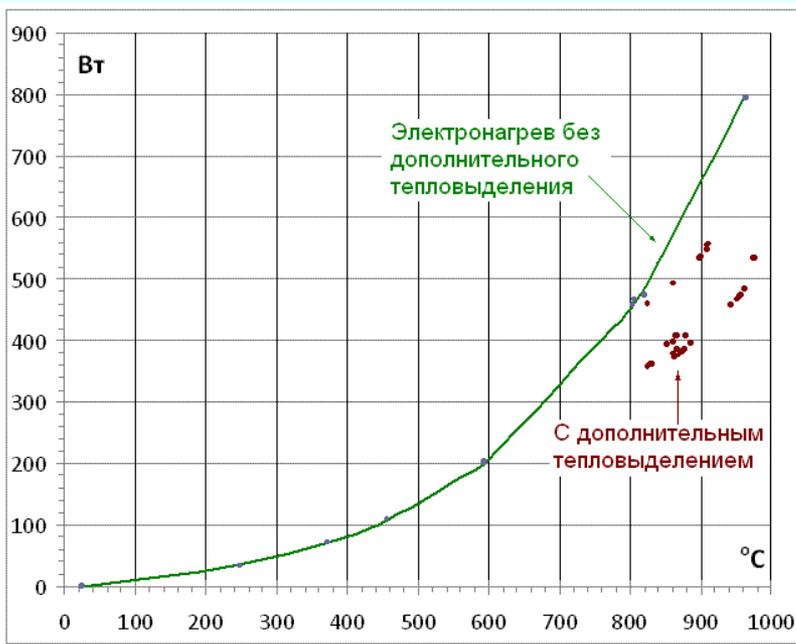
**Реактор проработал 40 суток с превышением выделяемого тепла над потребляемой электроэнергией приблизительно в 1,6 раза.**

Избыточная мощность до 300 Вт. Всего произведено около 700 МДж (200 кВт-час) избыточного тепла.

## Оценка мощности тепловыделения без калориметра

Сравнивается мощность, необходимая для достижения некоторой температуры поверхности реактора при калибровочном нагреве электрическим током и мощность в рабочем режиме, необходимая для достижения такой же температуры.

*Если эта мощность меньше, значит происходит тепловыделение дополнительное к электронагреву.*

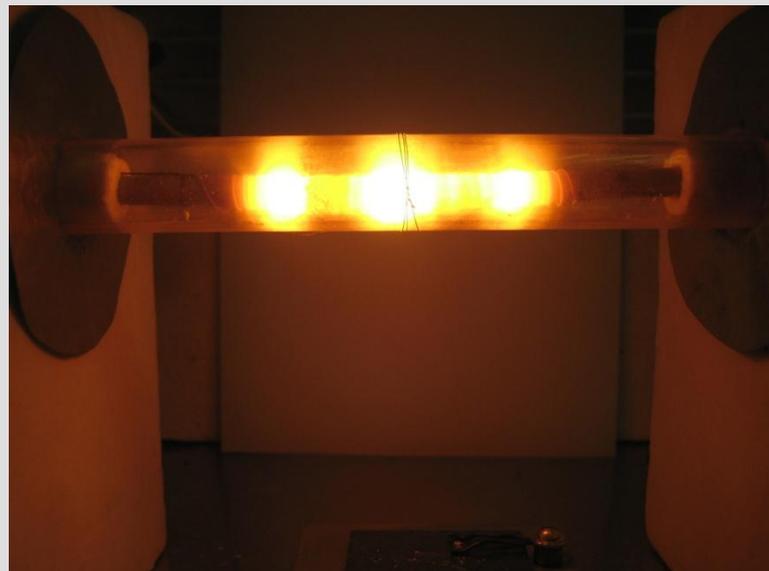
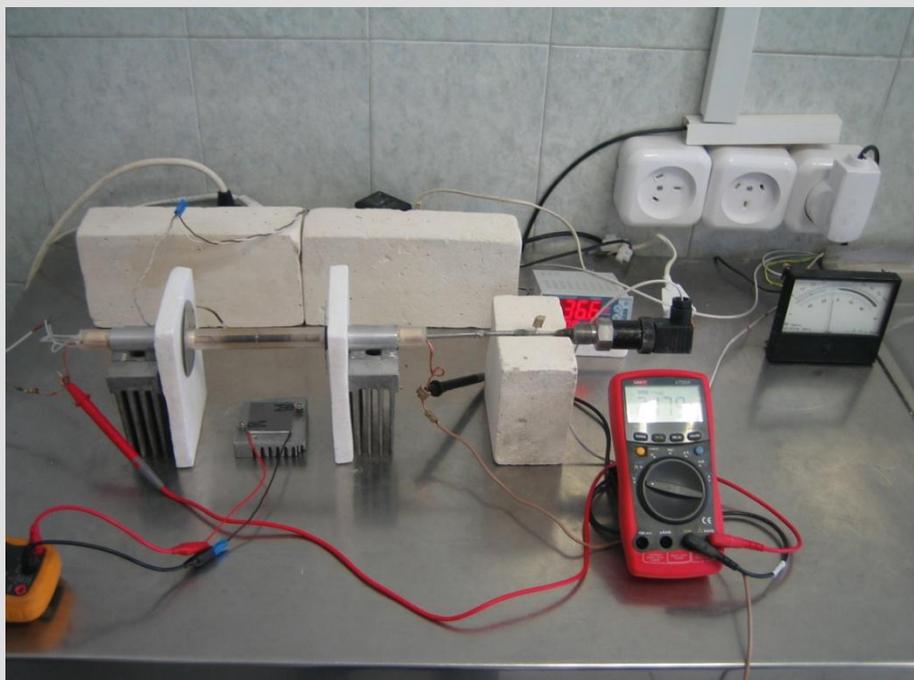


*Реактор ВВЗ. Мощность, потребляемая из электросети, мощность тепловыделения и температура на поверхности.*

# Реактор С1



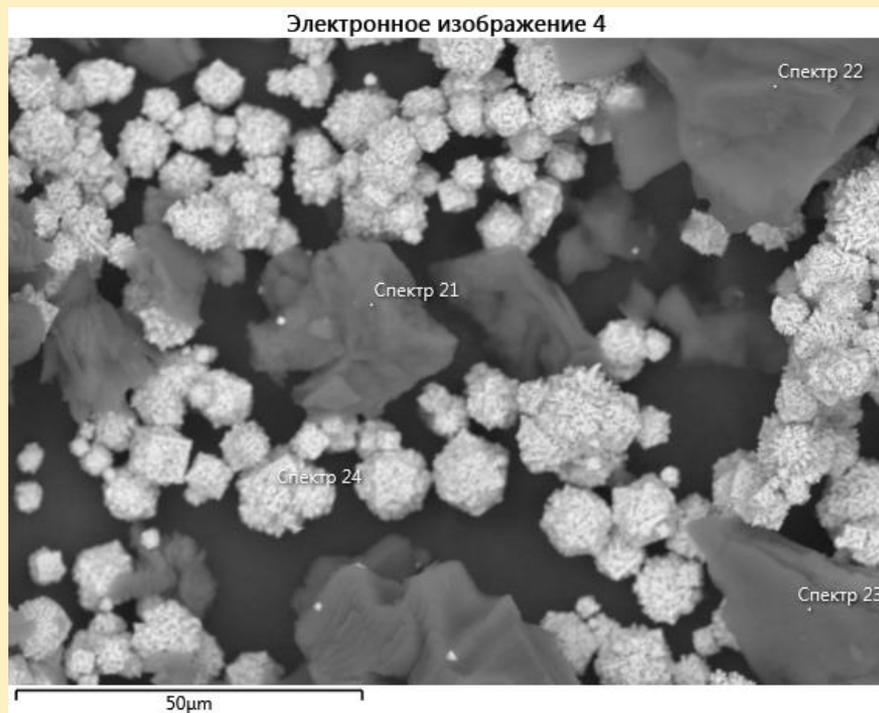
Реактор с прозрачной сапфировой трубкой демонстрирует возможность применения никель-водородных систем в качестве источников света. Реактор проработал 10 часов с избыточной мощностью до 350 Вт. Превышение мощности выделяемого тепла над мощностью потребляемой электроэнергии лежало в пределах 1,6 – 2,4,



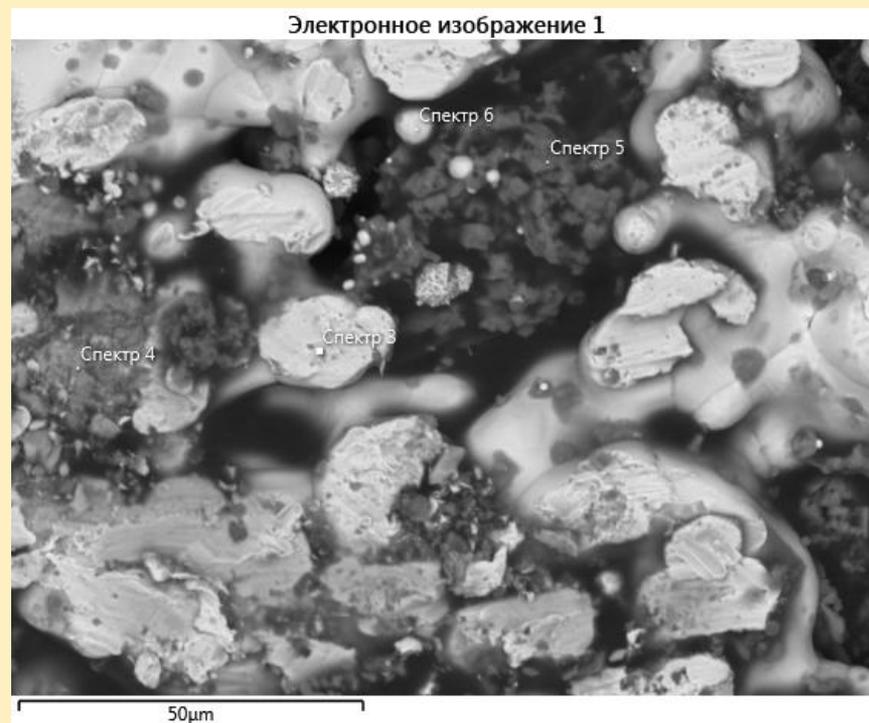
# Топливо в сканирующем электронном микроскопе (реактор АП2)

*Исследования проведены в ИОФ РАН.*

*Аналогичные результаты получены во ВНИИЭФ (г. Саров)*

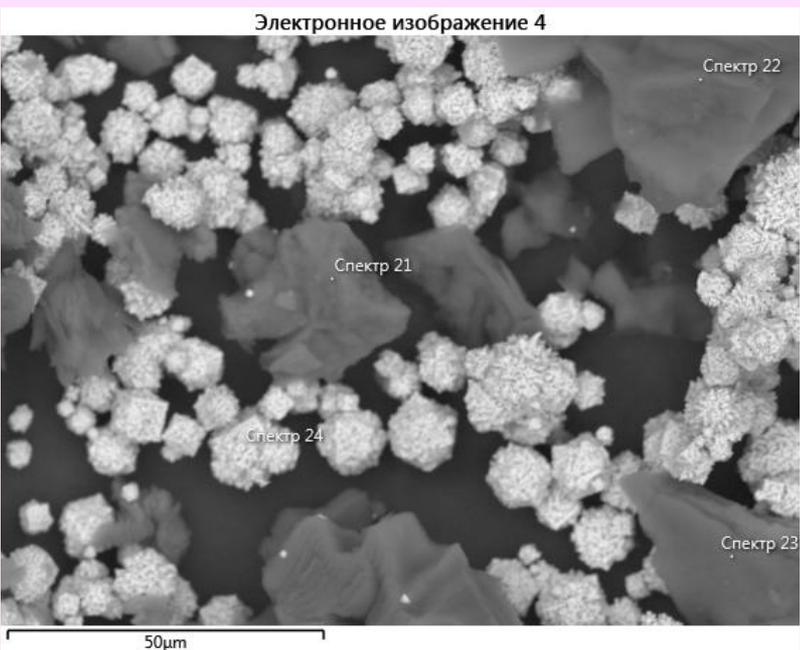


До заправки в реактор

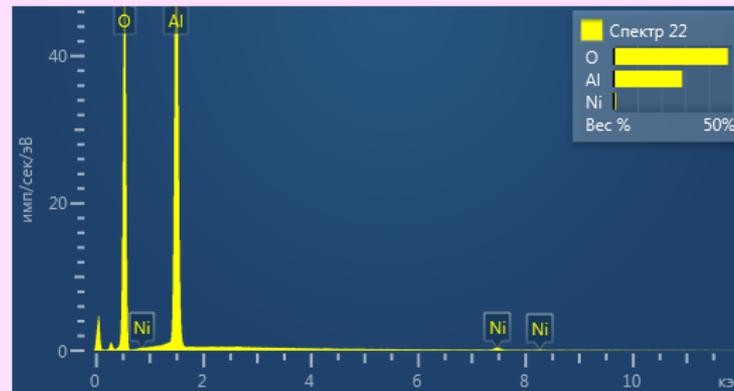
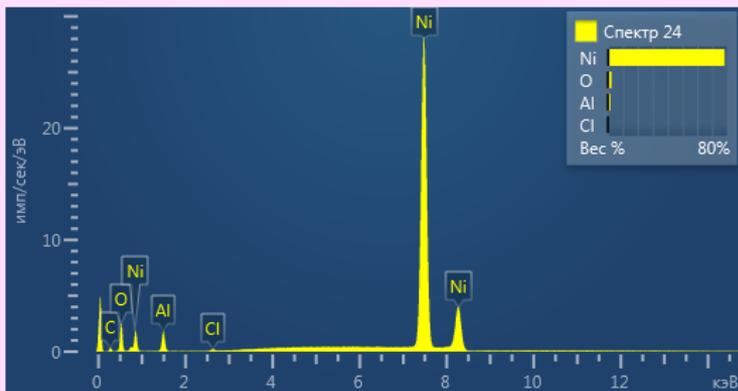
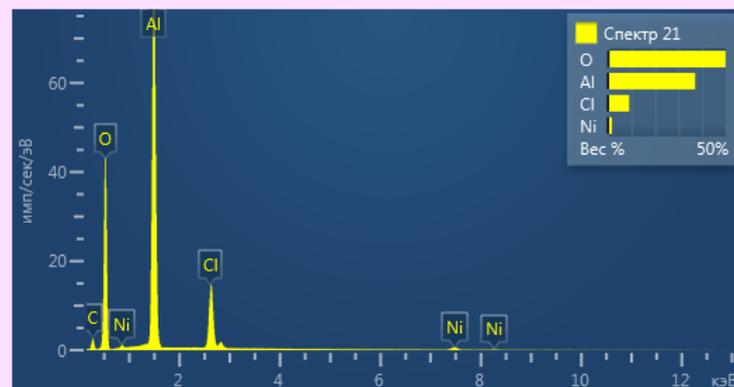


После извлечения из реактора

# Анализ элементного состава с использованием электронного сканирующего микроскопа (ИОФ РАН)

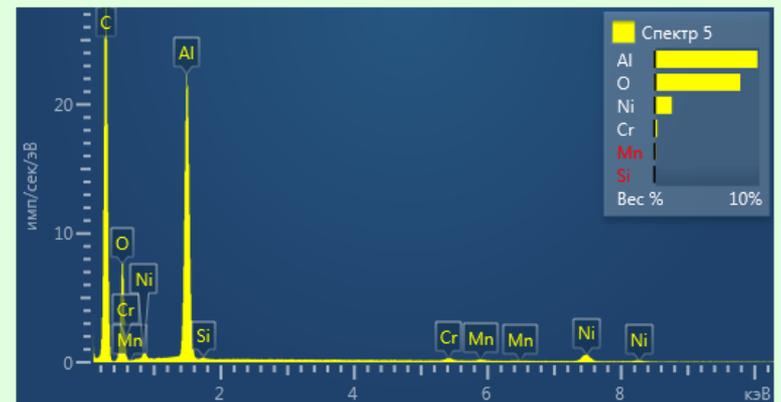
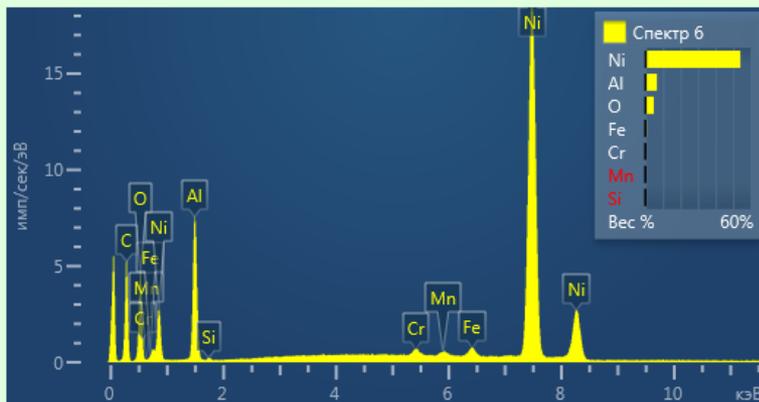
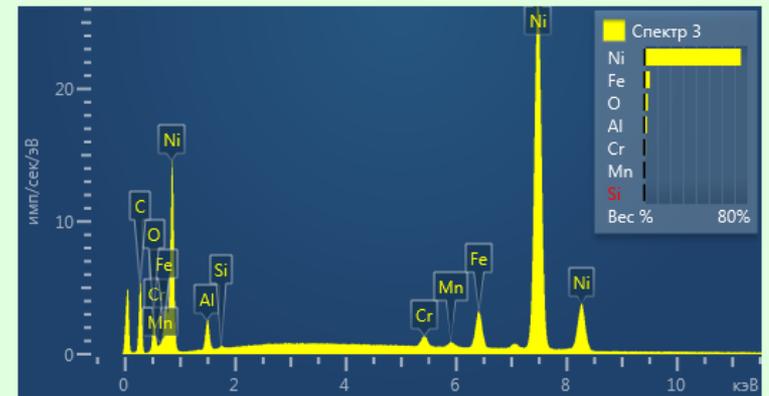
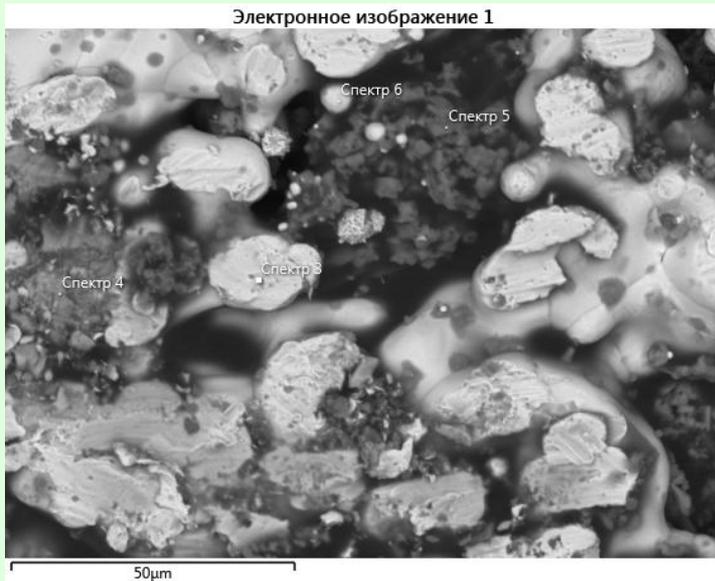


## Топливо ДО заправки в реактор АП2



# Анализ элементного состава с использованием электронного сканирующего микроскопа (ИОФ РАН)

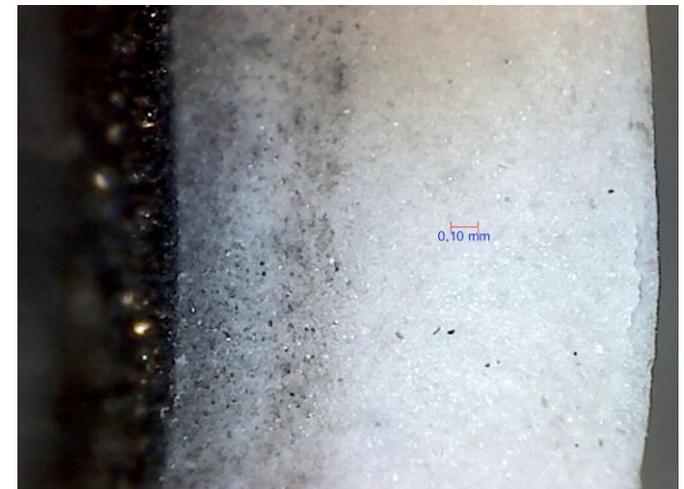
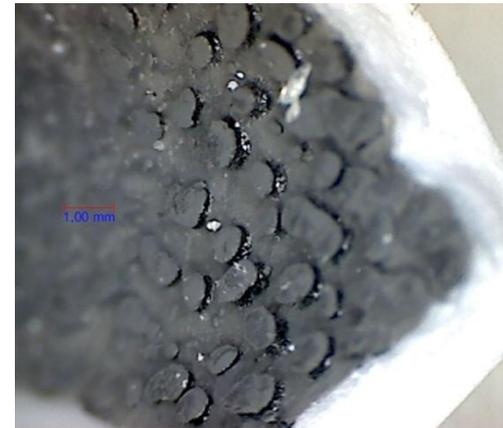
Топливо ПОСЛЕ извлечения из реактора АП2



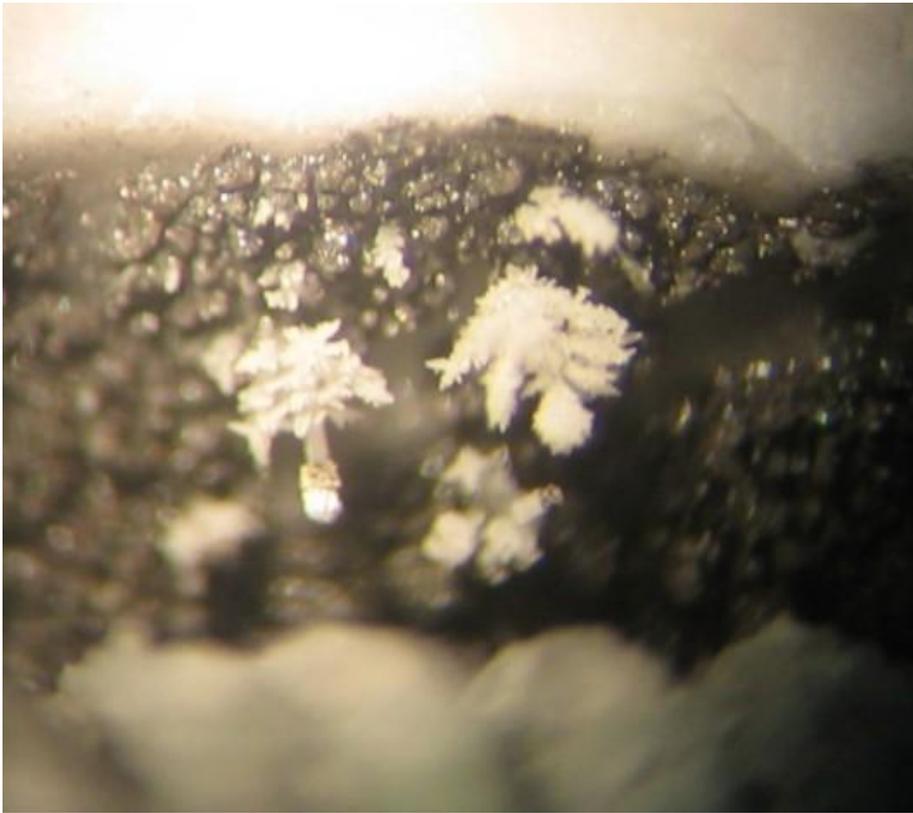
# Реактор после извлечения из калориметра



На стенке реактора



# Загадочные кристаллы



# «Вата» из металлических нитей



# Контроль уровня радиации

Для измерения возможной бета и гамма радиации использованы счетчики Гейгера. Кроме того, был использован гамма спектрометр на основе кристалла CsI(Tl).

*Для регистрации нейтронов использована пластинка индия, погруженная в воду. Измерения активности индия осуществлялись счетчиками Гейгера. Эта методика позволяет обнаружить нейтроны с плотностью потока  $0,2 \text{ нейтр/см}^2 \text{ с}$*

Ни один из примененных детекторов во время работы реакторов не обнаружил заметного превышения фоновых показателей.

## ВЫВОДЫ

- Многочисленные эксперименты, проведенные в разных лабораториях, подтверждают выделение в никель-водородных системах тепловой энергии, многократно превышающей тепловыделение возможное в химических процессах.
- В ходе процессов, происходящих в никель-водородных системах, обнаружены изменения элементного и изотопного состава вещества. Это указывает на то, что аномально высокое тепловыделение в этих системах, возможно, связано с превращениями на ядерном уровне.
- То, что такие превращения происходят при очень низких по ядерным меркам температурах, а также отсутствие жестких ядерных излучений и радиоактивности, указывает на необходимость искать *необычные* подходы для объяснения обнаруженных эффектов.