

Результаты испытаний нового варианта аналога высокотемпературного теплогенератора Росси

А.Г. Пархомов¹

Аннотация—Описана конструкция нового варианта устройства, подобного высокотемпературному теплогенератору А.Росси, проработавшего непрерывно более трех суток. Сделана оценка избыточного энерговыделения (около 500 Вт, отношение выделяемой мощности к потребляемой до 2,4). Всего за время эксперимента выработано около 150 МДж избыточной энергии. Проводятся анализы атомного и изотопного состава топливной смеси до и после эксперимента.

Эксперименты с устройствами, подобными теплогенератору Росси, которые описаны в [1], показали, что смесь никеля и алюмогидрида лития, нагретая в герметичной керамической трубке до температуры выше 1100°C, производит тепла значительно больше, чем потребляет.

Но продолжительность работы этих реакторов слишком мала, чтобы накопить достаточно большие изотопные и элементные изменения и тем самым доказать, что выделение избыточного тепла происходит в результате холодных ядерных трансмутаций.

Для того чтобы обеспечить длительную непрерывную работу, конструкцию реактора пришлось существенно изменить. Прежде всего, пришлось отказаться от калориметрии, основанной на измерении массы испаряемой воды, так как сложно обеспечить круглосуточную контролируруемую подливку воды.

I. УСТРОЙСТВО РЕАКТОРА ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Устройство реактора для длительных испытаний показано на рис. 1. Трубка реактора имеет внутренний диаметр 5 мм и наружный диаметр 10 мм. Длина трубки 29 см, причем нагревается только центральная часть (7 см). Вследствие низкой теплопроводности керамики концы трубки нагреваются слабо (при температуре в середине 1200°C края трубки имеют температуру не выше 50°C). Это позволяет использовать герметик на основе эпоксидной смолы.

Нагреватель выполнен из сплава X23Ю5Т (Kanthal A1) выдерживающего температуру до 1400°C. Топливная смесь (640 мг Ni + 60 мг Li[AlH₄]) находится в контейнере из тонкой нержавеющей стали. Использован порошок никеля марки ПНК-ОТ2. 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.

II. АППАРАТУРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ, ИЗМЕРЕНИЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Электронагреватель подключен к электросети через тиристорный регулятор (рис. 2). Для оперативного контроля потребляемой мощности использованы амперметр и вольтметр переменного тока. Но так как тиристорный регулятор искажает синусоидальную форму тока, такого рода приборы не позволяют делать корректные измерения. Для более точного измерения потребляемой электроэнергии использован электронный электросчетчик “Меркурий 201.5”, позволяющий не только отображать на своем дисплее величину потребленной электроэнергии, но и выдавать информацию в форме электрических импульсов, что позволяет регистрировать информацию о потребляемой электроэнергии компьютером.

Для контроля температуры реактора использована термопара хромель-алюмель, спай которой размещен на поверхности реакторной трубки в середине зоны нагрева. Сигнал с термопары отображается стрелочным прибором и регистрируется компьютером. Кроме того, сигнал с термопары используется для регулировки подаваемой на электронагреватель мощности таким образом, чтобы поддерживалась заданная температура.

Регистрирующий температуру компьютер приходилось периодически отключать для подзарядки аккумулятора. В это время продолжался контроль температуры стрелочным прибором, а также самописцем Н-370.

III. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ РЕАКТОРА

Работа устройства с выделением тепла, превышающим подводимую электроэнергию, требует предварительного разогрева, в ходе которого происходит разложение алюмогидрида лития с высвобождением водорода, очищение поверхности гранул никеля, поглощенные выделившегося водорода никелем и, наконец, при

¹ alexparh@mail.ru.

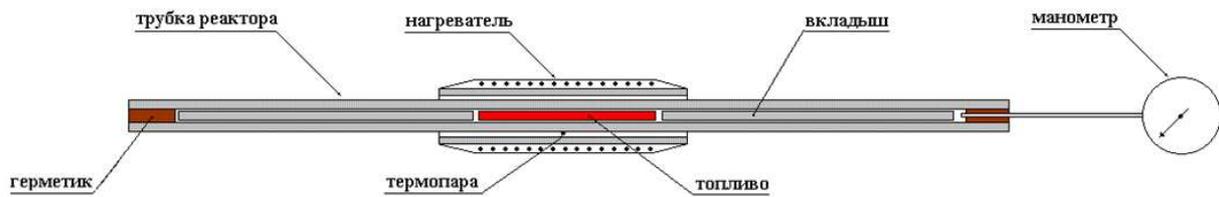


Рис. 1. Схема реактора для длительных испытаний.

достаточно высокой температуре, выделение энергии в результате процессов в топливной смеси. Важно отметить, что скорость нагрева должна быть достаточно низкой для того, чтобы выделяющийся водород успевал поглощаться никелем во избежание чрезмерного повышения давления водорода.

На рис. 4 показано, как менялась температура в процессе нагрева, а также мощность, необходимая для достижения задаваемой температуры. Температура 1200°C на поверхности центральной части трубки реактора была достигнута через 12 часов после начала эксперимента в результате постепенного увеличения мощности электронагревателя до 630 Вт. Затем в течение 1 часа мощность, требующаяся для поддержания температуры 1200°C, снизилась до 330 Вт. После этого мощность электронагрева 300-400 Вт удерживалась на протяжении трех суток.

На рис. 5 показано изменение давления в камере реактора в процессе нагрева, сопоставленное с ростом температуры.

Рост давления начался при температуре около 100°C. Максимальное давление около 5 бар достигнуто при температуре 180°C. После этого давление начало падать, и при температуре 900°C стало меньше атмосферного. Наиболее сильное разрежение (около - 0,5 бар) достигнуто при температуре 1150°C. В дальнейшем давление постепенно приблизилось к атмосферному.

На рис. 6 показан ход мощности электронагревателя на протяжении 4 суток до момента перегорания провода нагревателя в результате его постепенного окисления. На протяжении почти 3 суток мощность электро-

нагревателя, при которой температура на поверхности трубки реактора 1200°C, лежала в пределах 300 - 400 Вт. Незадолго до перегорания нагревателя мощность начала быстро расти, и в момент перегорания достигла 600 Вт.

Через сутки реактор был повторно включен с той же реакторной трубкой, но с новым нагревателем. Рис. 7 показывает ход потребляемой реактором мощности после замены нагревателя. В отличие от первого нагрева, здесь после достижения температуры 1200°C существенного снижения потребляемой мощности не произошло. Мощность, требующаяся для поддержания температуры 1200°C, находилась в пределах 600-700 Вт, т.е. была примерно такой величины, какая была в момент перегорания первого нагревателя. Только в конце повторного включения реактора потребляемая мощность несколько снизилась.

Примерно через сутки после повторного включения реактора он был выключен путем постепенного снижения мощности нагревателя.

IV. КОНТРОЛЬ РАДИАЦИИ

Для контроля уровня радиации, как и в экспериментах, описанных в статье [1], использованы счетчик Гейгера СИ-8Б, дозиметр ДК-02 и нейтронно-активационная методика с использованием индия.

Счетчик СИ-8Б имеет входное окно из тонкой слюды, что позволяет регистрировать не только бета- и гамма-

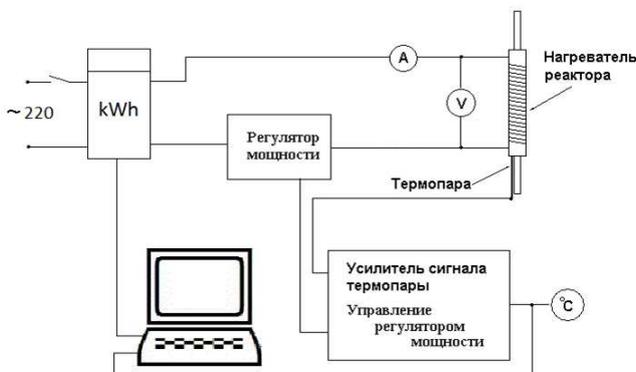


Рис. 2. Схема электропитания нагревателя, измерения и регулировки потребляемой мощности и температуры.

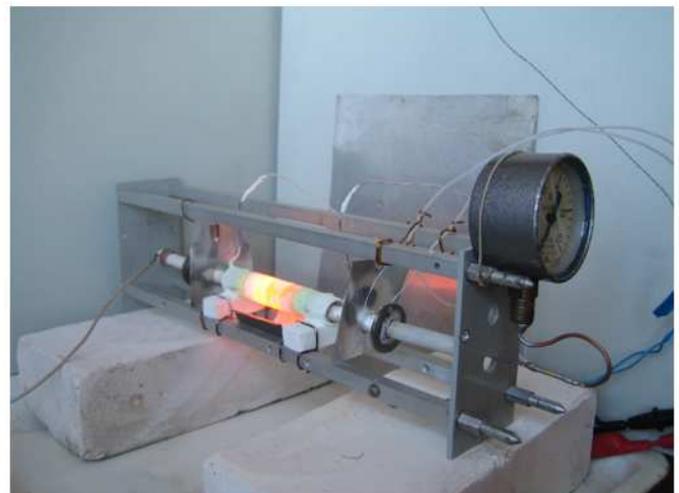


Рис. 3. Реактор во время испытаний.

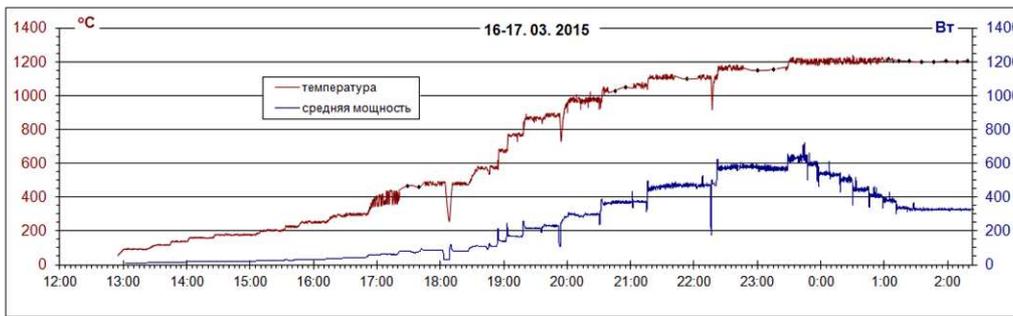


Рис. 4. Нагрев реактора до рабочей температуры. На горизонтальной шкале московское время.

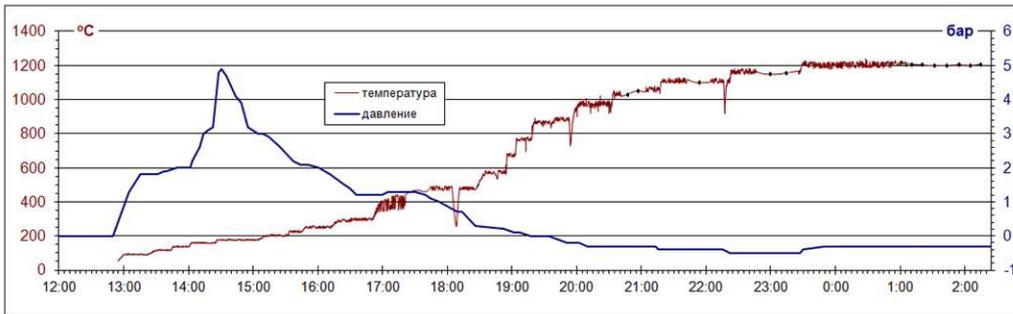


Рис. 5. Нагрев реактора до рабочей температуры. Изменение давления в процессе нагрева.

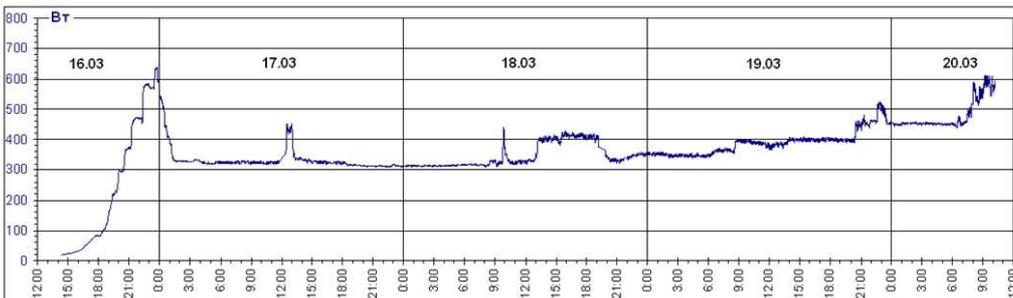


Рис. 6. Мощность электроннагревателя на протяжении 4 суток до момента перегорания нагревателя. После достижения температуры 1200°C 23:30 16.03.2015 эта температура поддерживалась до 10:50 20.03.2015 путем автоматической регулировки мощности нагревателя.

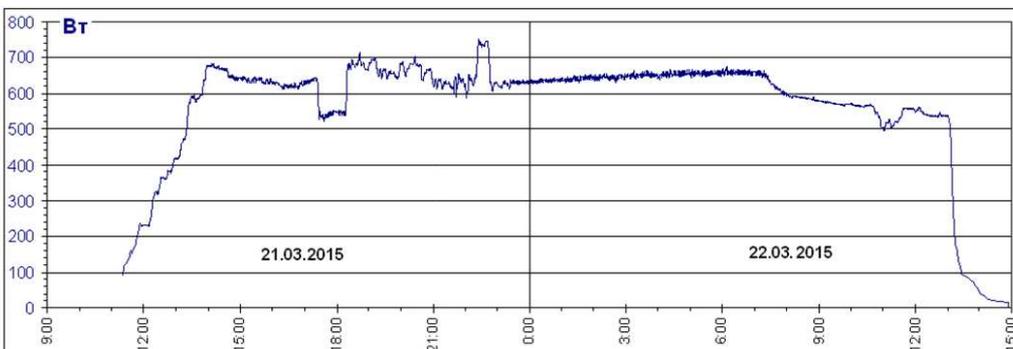


Рис. 7. Мощность, потребляемая реактором при повторном включении с новым нагревателем. После достижения температуры 1200°C в 13:50 21.03.2015 эта температура поддерживалась до 13:00 22.03.2015 путем автоматической регулировки мощности нагревателя.

радиацию, но и альфа-частицы и мягкое рентгеновское излучение. Дозиметр ДК-02 – конденсаторная ионизационная камера, имеющая предел измерения 200 мР (бета и гамма излучение).

Пластинка индия, погруженная в водный замедлитель, используется для регистрации нейтронов. Для измерения активности индия использованы два счетчика Гейгера “Бета-5”. Большая площадь индиевой пластинки (18 см²) позволяет регистрировать медленные нейтроны, имеющие плотность потока выше 0,2 нейтр/см²с.

Проведенные измерения показали, что уровень ионизирующих излучений во время работы реактора заметно не превышает фоновые показатели.

V. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ ТЕПЛА И ПОТРЕБЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Так как в описываемом эксперименте не предусмотрено непосредственное измерение количества производимой теплоты, надежное ее измерение является довольно сложной задачей. Эту задачу можно решить на основе сопоставления параметров реактора, содержащего топливную смесь и реактора без топливной смеси.

На рис. 8 показано, какая мощность необходима для достижения заданной температуры реактором без топлива и с топливом. Видно, что при температурах выше 700°C реактор с топливом потребляет меньше электроэнергии, чем такой же реактор без топлива. Это указывает на наличие источника тепла помимо электронагревателя.

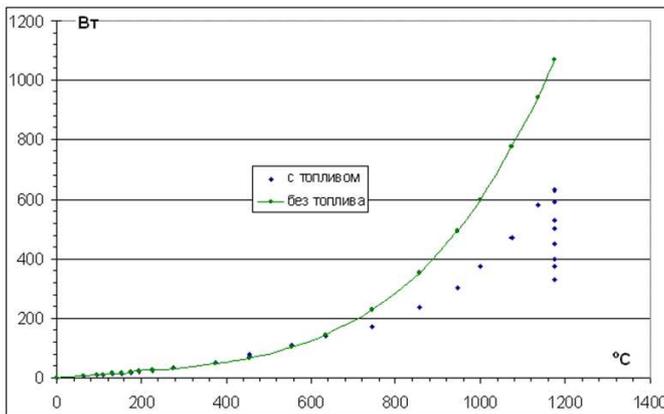


Рис. 8. Мощность, необходимая для поддержания заданной температуры.

При достижении температуры 1200°C мощность, требующаяся для поддержания этой температуры без топлива, составляет 1100 Вт. При наличии топлива при первом включении для этого потребовалось вначале 650 Вт, а через час всего 300-330 Вт. Исходя из этих данных, можно сделать оценку величины COP (отношения выделяемой тепловой энергии к потребляемой). При этом необходимо учитывать отличие процессов в

реакторе без топлива и с топливом, когда происходит дополнительное тепловыделение.

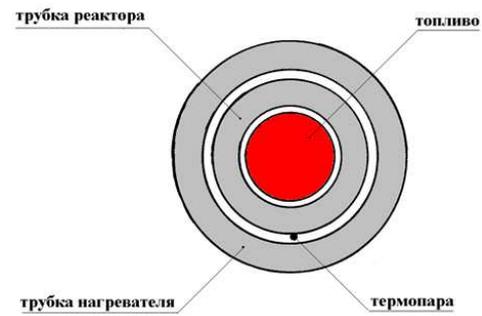


Рис. 9. Поперечный разрез центральной зоны реактора.

Интенсивность теплообмена с внешней средой (рассеиваемая мощность) определяется температурой на границе сред, т.е. наружной температурой нагревателя. При отсутствии внутреннего источника тепла температура снаружи и внутри не может сильно отличаться. При наличии дополнительного тепловыделения в центре реактора возникает тепловой поток изнутри наружу, приводящий к появлению градиента температуры. Поэтому температура, измеряемая термопарой на поверхности трубки реактора, выше температуры поверхности нагревателя.

Измерения дополнительной термопарой показывают, что при температуре 1200°C на поверхности трубки реактора с топливом, температура поверхности нагревателя (при первом включении) около 1070°C. Так как рассеиваемая мощность определяется наружной температурой, реактор суммарно производит тепла столько, сколько требовалось без топлива при температуре 1070°C (около 800 Вт). Учитывая это, COP = 800/330 = 2,4.

При повторном включении при температуре 1200°C на поверхности трубки реактора, температура поверхности нагревателя 1130°C. Реактор производит тепла столько, сколько требовалось без топлива при температуре 1130°C (около 950 Вт). Потребляемая мощность менялась в пределах 550-700 Вт. Следовательно, при повторном включении COP = 1,3-1,7.

VI. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ РЕАКТОРА

После остановки и остывания реактора трубка реактора была вскрыта, извлечены керамические вкладыши и контейнер с топливом. Было обнаружено, что сам контейнер хорошо сохранился, хотя он и близкие к нему участки керамических вкладышей покрылись налетом черного цвета (см. рис. 10).

Извлеченное из контейнера отработавшее топливо (рис. 11) представляет собой спекшееся вещество светло-серого цвета, по виду сильно отличающееся от исходной топливной смеси (мелкий порошок черного цвета). При рассматривании в оптический микроскоп видно, что отработавшее топливо имеет вид спекшихся



Рис. 10. Контейнер с топливом после извлечения из трубки реактора. По бокам – керамические вкладыши.

мелких капелек золотистого цвета с примесью порошка серого цвета (рис. 12).



Рис. 11. Топливо после извлечения из контейнера.

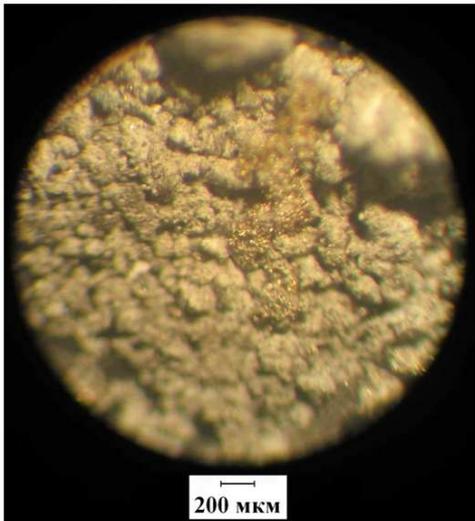


Рис. 12. Вид отработавшего топлива в оптическом микроскопе.

Изображения, полученные на электронном сканирующем микроскопе показывают, что никель в исходной топливной смеси имеет вид пористых шаровидных комочков размером около 10 мкм. Алюмогидрид лития имеет вид чешуек размером от единиц до сотен мкм (рис. 13).

В отработавшем топливе видны два компонента: сплавившаяся масса, состоящая преимущественно из никеля, и чешуйки, состоящие в основном из алюминия и кислорода (рис. 14).

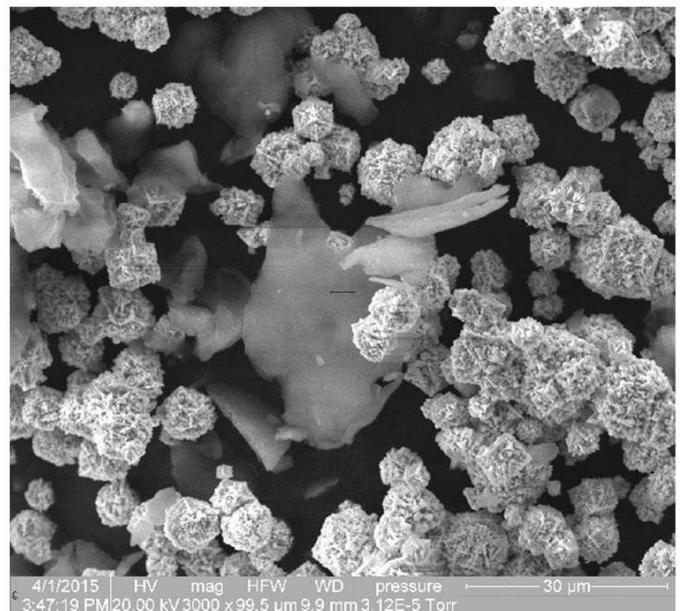


Рис. 13. Вид топливной смеси в электронном сканирующем микроскопе до эксперимента.

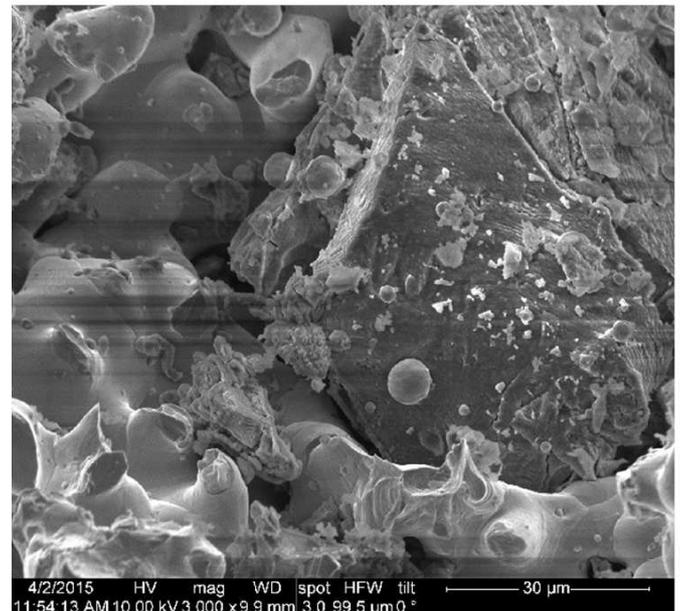


Рис. 14. Вид топливной смеси в электронном сканирующем микроскопе после эксперимента.

VII. АНАЛИЗ СОСТАВОВ ИСХОДНОГО И ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

Исследование элементного и изотопного составов топливной смеси в настоящее время продолжается. Проведенные анализы не выявили значительных изменений изотопного состава топлива. Можно предположить, что это связано с недостаточной продолжительностью эксперимента. Эксперимент в Луганно [2], [3], обнаруживший сильные изотопные изменения, был в 10 раз продолжительнее при значительно более высокой мощности.

Исследование элементного состава на электронном микроскопе показали очень сильное различие для разных мест отбора пробы. Тем не менее, отчетливо различаются две фракции: в одной преобладают алюминий и кислород, в другой никель. Во фракции с никелем после работы реактора значительно возросло содержание хрома, калия, кремния, натрия, железа, титана и ряда других элементов.

После завершения исследований изотопного и элементного составов топлива его результаты будут опубликованы.

VIII. Выводы

1. Изготовленное устройство после достижения рабочей температуры 1200°C работало непрерывно более 3 суток, производя сверх потребляемой мощности около 500 Вт ($\text{COP} \sim 2,4$).

2. При повторном включении выделение избыточной мощности составило от 250 до 400 Вт ($\text{COP} = 1,3...1,7$).

3. Всего сверх затраченной электроэнергии произведено более 40 кВт-час или 150 МДж. Столько энергии можно получить при сжигании нескольких килограммов нефтепродуктов.

4. Давление в камере реактора не превышало 5 бар.

5. Анализы изотопного состава никеля в топливной смеси до и после эксперимента не обнаружили сильных изменений. В отработавшем топливе обнаружено возрастание содержания хрома, калия, натрия, кремния, железа, титана и ряда других элементов.

Автор выражает глубокую благодарность К.Алабину, С.Андрееву, Е.Белюсовой, Е.Буряку за организацию проведения анализов топливной смеси, R. Gröner за плодотворное обсуждение, Н.Самсоненко, Л.Уруцкоеву, В.Жигалову, G.Levi, P.Gluk и многим другим людям в России и за ее пределами за поддержку и ценные советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А.Г. Пархомов. Исследование аналога высокотемпературного теплогенератора России. *ЖФНН*, 3(7):68–72, 2015.
- [2] G. Levi, E. Foschi, B. Höistad, R.Pettersson, L. Tegnér, H.Essén. 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>.
- [3] А.Г. Пархомов. Отчет международной комиссии об испытании высокотемпературного теплогенератора России. *ЖФНН*, 2(6):57–61, 2014.