



Верификация модели физико-химических процессов в расплаве на внекорпусной стадии тяжёлой аварии

**Моисеенко Е. В., Филиппов А. С.,
Киселёв А. Е.**

ИБРАЭ РАН, Москва

*МНТК-2009
ОКБ «Гидропресс», Подольск
26 – 29 мая 2009*

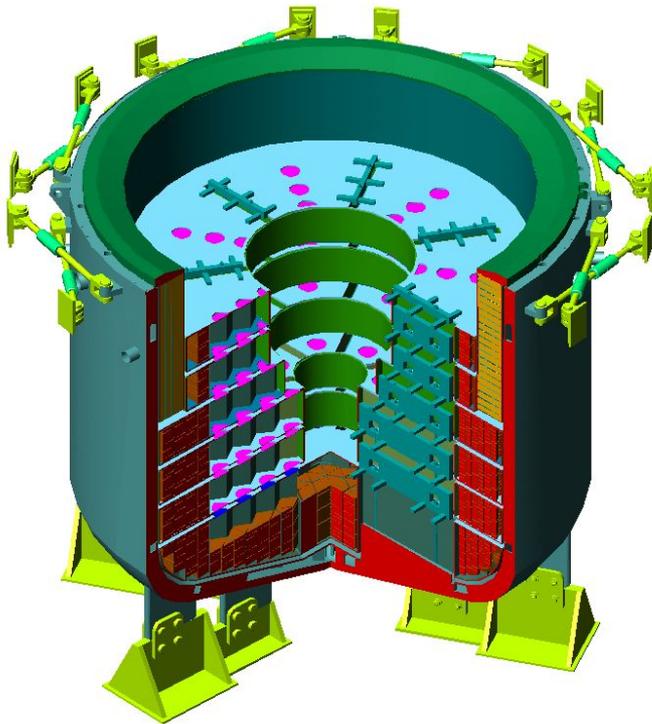
Современные требования к безопасности АЭС

При любом сценарии развития аварии на АЭС должна быть обеспечена целостность защитной оболочки



Способ обеспечения этих требований – УЛР (СУОРАЗ)

Устройство локализации расплава – «ловушка»



Назначение: прием, локализация и захлаживание расплава при авариях с разрушением АЗ и корпуса реактора

Основные функции:

- удержание днища корпуса реактора при его отрыве или пластическом деформировании до момента выхода кориума из корпуса
- прием и размещение кориума и материалов ВКУ
- теплоотдача от кориума к охлаждающей воде и гарантированное захлаживание расплава до его затвердевания
- обеспечение подкритичности кориума в УЛР в процессе его охлаждения
- минимизация выхода радиоактивных веществ и водорода
- защита контейнмента и бетонной шахты от термического и механического воздействия кориума

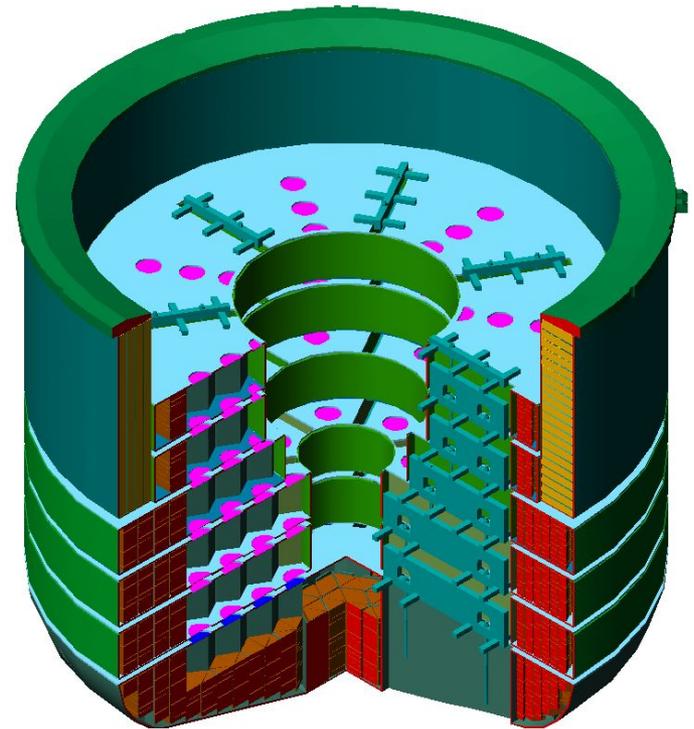
Жертвенный материал

Обеспечивает:

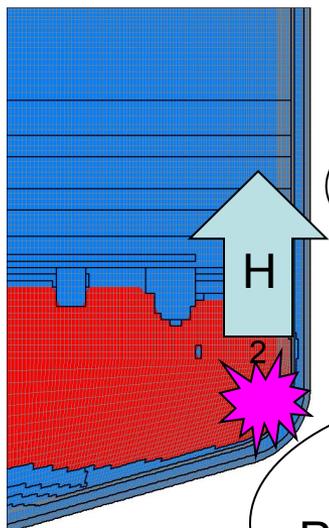
- уменьшение температуры расплава за счет интегрального эндотермического эффекта при взаимодействии жертвенного материала с расплавом кориума;
- увеличение поверхности теплообмена между кориумом и охлаждающей водой в теплообменнике, уменьшение теплового потока на его стенке и увеличение запаса до кризиса теплообмена;
- инверсию оксидного и стального стратифицированных слоев ванны расплава;
- уменьшение химической активности кориума за счет окисления его компонентов жертвенным материалом;
- минимизацию выхода водорода вследствие окисления металлического циркония, содержащегося в расплаве, при взаимодействии с керамическим жертвенным материалом на начальном этапе взаимодействия кориума и жертвенного материала;
- гарантированную подкритичность расплава.

Состав:

Сталь + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + Gd_2O_3
+ бетон

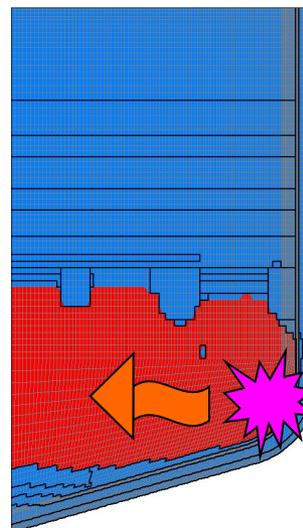


Модель химии УЛР (код HEFEST-CC)

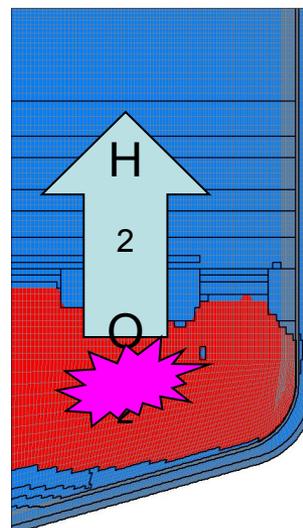


Выход газов

Плавление ЖМ
Реакции на фронте
плавления



Перенос
материалов в
ванну расплава



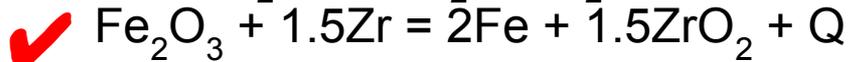
Выход газов

Реакции в объёме
расплава

Модель химии УЛР (код HEFEST-CC)

На фронте плавления

Окисление циркония:



Окисление хрома и никеля:



Восстановление гематита:

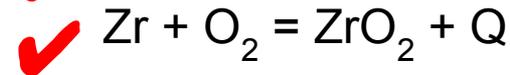
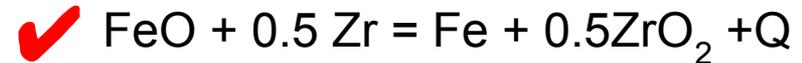


Окисление свободного железа:

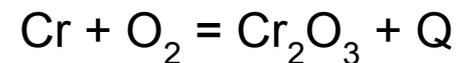


В объёме

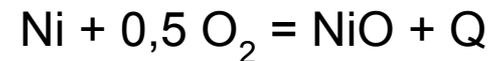
Окисление циркония:



Окисление хрома:



Окисление никеля:



Неопределённости в расчёте



Q = ?

Зависит от технологии приготовления ЖМ

Рассматриваются значения от 230,0 до 513,7 кДж/моль Fe_2O_3

Состав ЖМ: **ЖКМ или ПОЖА?**

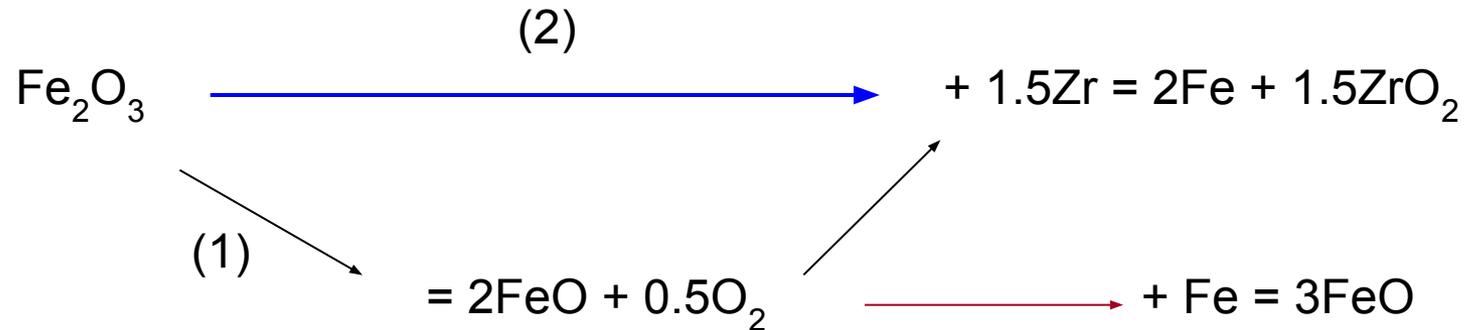
ПОЖА (67% Fe_2O_3 + 33% Al_2O_3):

61 т Fe_2O_3

ЖКМ (95% Fe_2O_3 + 5% MnO_2) + ПОЖА:

78,4 т Fe_2O_3

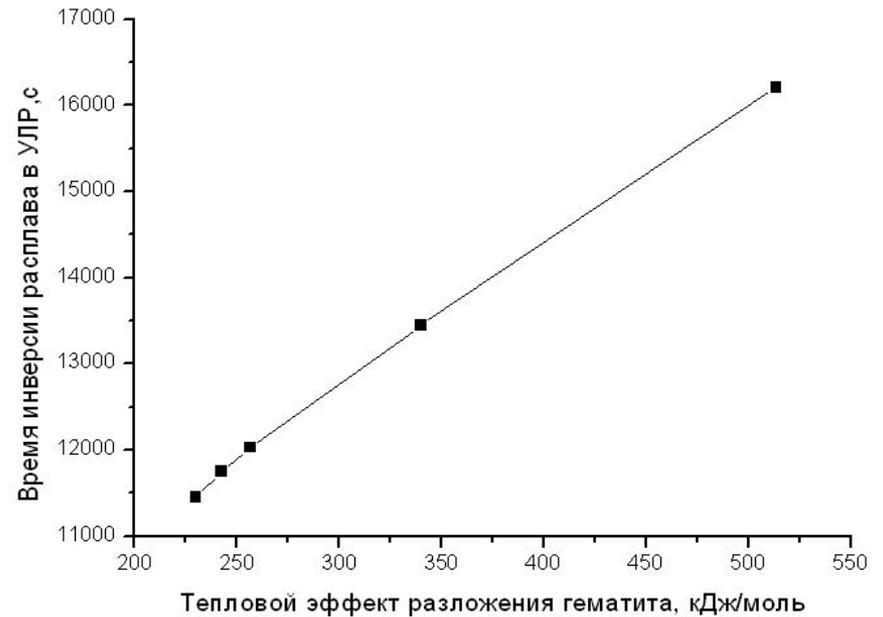
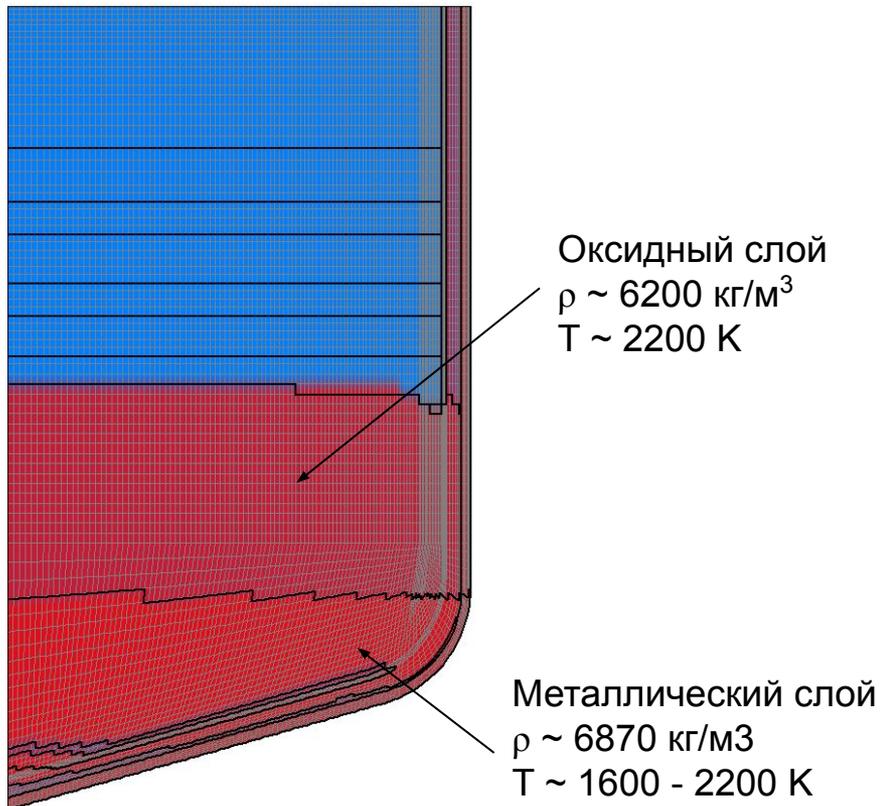
Влияние неопределённостей



$Q_{(1)}$, кДж/моль	$Q_{(2)}$, кДж/моль	Теплота, выделившаяся при окислении Zr (13,9 т), Дж	Интегральная теплота реакций, Дж	
			ПОЖА+ ЖКМ	ПОЖА
513,7	-621,2	$6,31 \cdot 10^{10}$	$-4,24 \cdot 10^{10}$	$-1,29 \cdot 10^{10}$
340,0	-794,9	$8,08 \cdot 10^{10}$	$4,29 \cdot 10^{10}$	$5,35 \cdot 10^{10}$
256,8	-878,0	$8,92 \cdot 10^{10}$	$8,37 \cdot 10^{10}$	$8,52 \cdot 10^{10}$
242,7	-892,2	$9,06 \cdot 10^{10}$	$9,06 \cdot 10^{10}$	$9,06 \cdot 10^{10}$
230,0	-904,9	$9,19 \cdot 10^{10}$	$9,69 \cdot 10^{10}$	$9,55 \cdot 10^{10}$

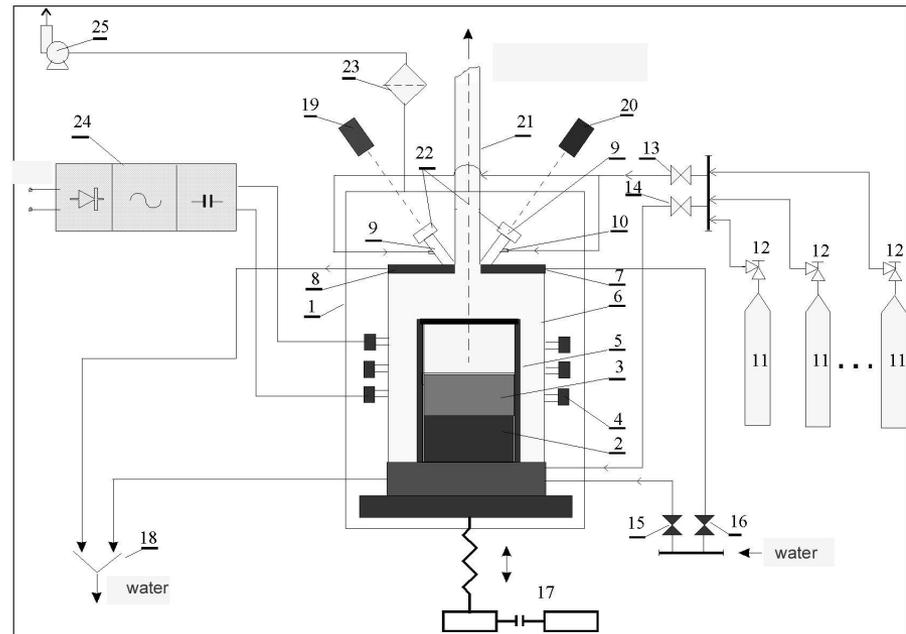
Влияние неопределённостей

Зависимость времени инверсии слоёв



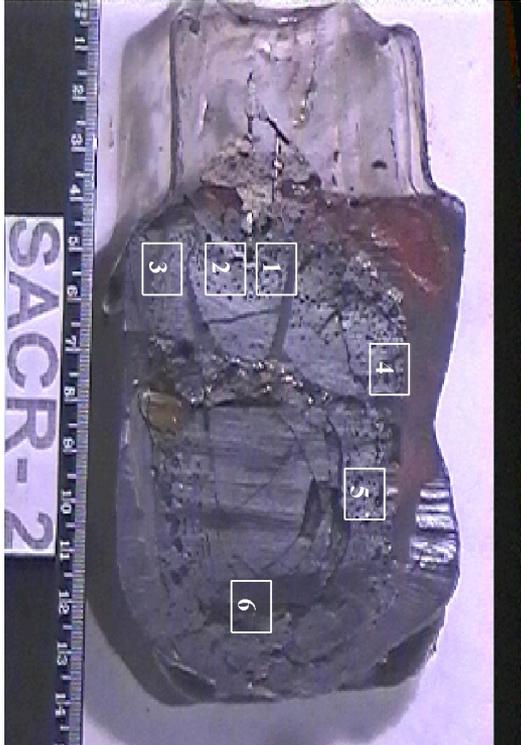
Разрешение неопределённостей, верификация

Эксперименты SACR (НИТИ им. Александрова)



1. Защитный бокс.
2. Жертвенный материал
3. Расплав кориума.
4. Индуктор.
5. Холодный тигель.
6. Кварцевая обечайка.
7. Вход и выход охлаждающей воды
8. Водоохлаждаемая крышка.
9. Смотровое окно для пирометра.
10. Вход газа.
11. Газовые баллоны.
12. Газовые редукторы.
- 13,14,15,16 Вентили.
17. Привод
18. Сливная воронка.
19. Пирометр спектрального отношения
20. Инфракрасный пирометр.
21. Основная аэрозольная магистраль
22. Крышки смотровых окон.
23. Главный фильтр.
24. Высокочастотный генератор.
25. Вентилятор

Эксперимент SACR - 2



Исходный состав

Кориум С-100:

66 % UO_2 + 19 % ZrO_2 + 15 % FeO

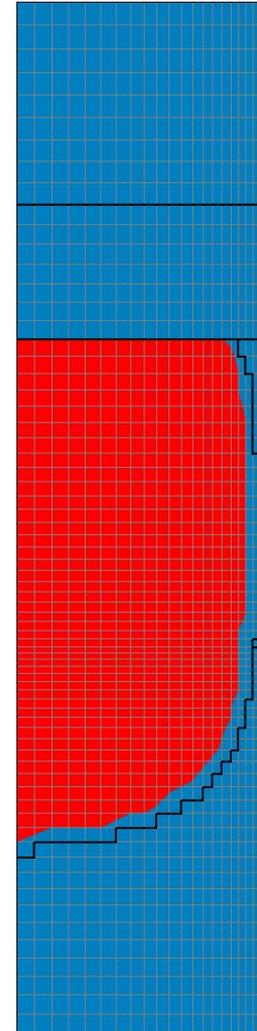
Жертвенный материал:

89,7 % Fe_2O_3 + 3,6 % $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ +
+6,7 % M500

Скорость взаимодействия

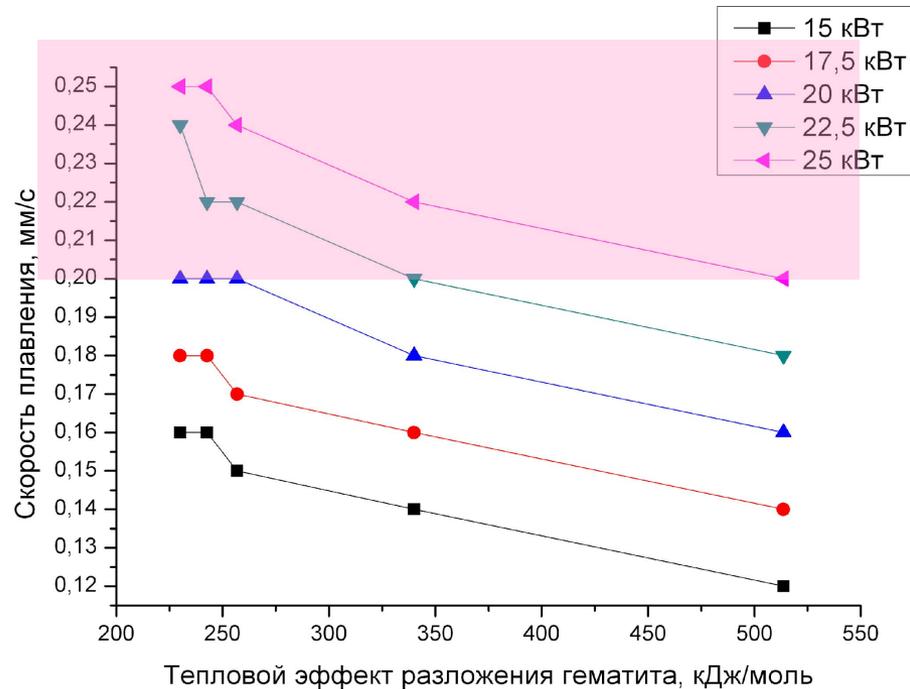
От 1,0 до 0,2 мм/с в зависимости от фазы эксперимента и режима нагрева

Распределение жидкой фазы, T = 186.78 сек.



Эксперимент SACR - 2

Расчётная скорость продвижения фронта плавления



Для режимов нагрева 20 кВт и выше хотя бы часть точек попадает в область экспериментальных значений

Эксперимент SACR - 7

Исходный состав

Кориум C-32:

76 % UO_2 + 9 % ZrO_2 + 15 % Zr

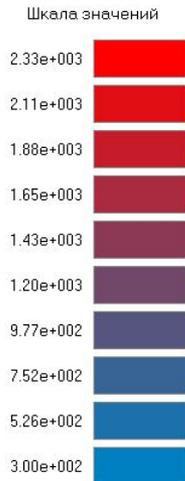
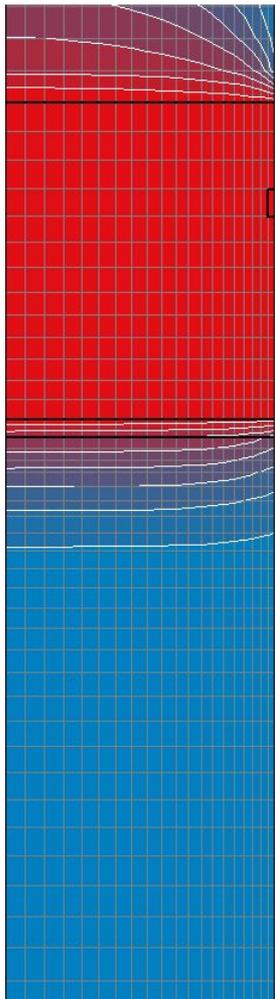
Жертвенный материал:

85 % Fe_2O_3 + 15 % Al_2O_3

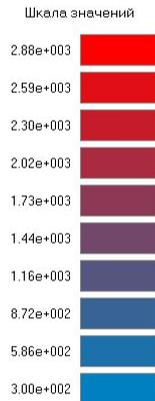
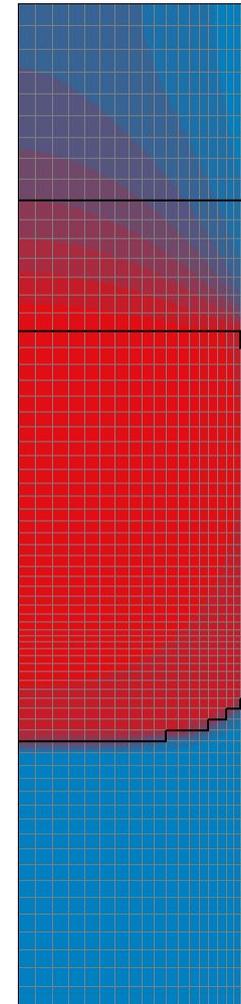
После взаимодействия (14 с)

65 % UO_2 + 20 % ZrO_2 + 2 % Zr +
0 % FeO + 3 % Al_2O_3 + 10 % Fe

Temperature, T

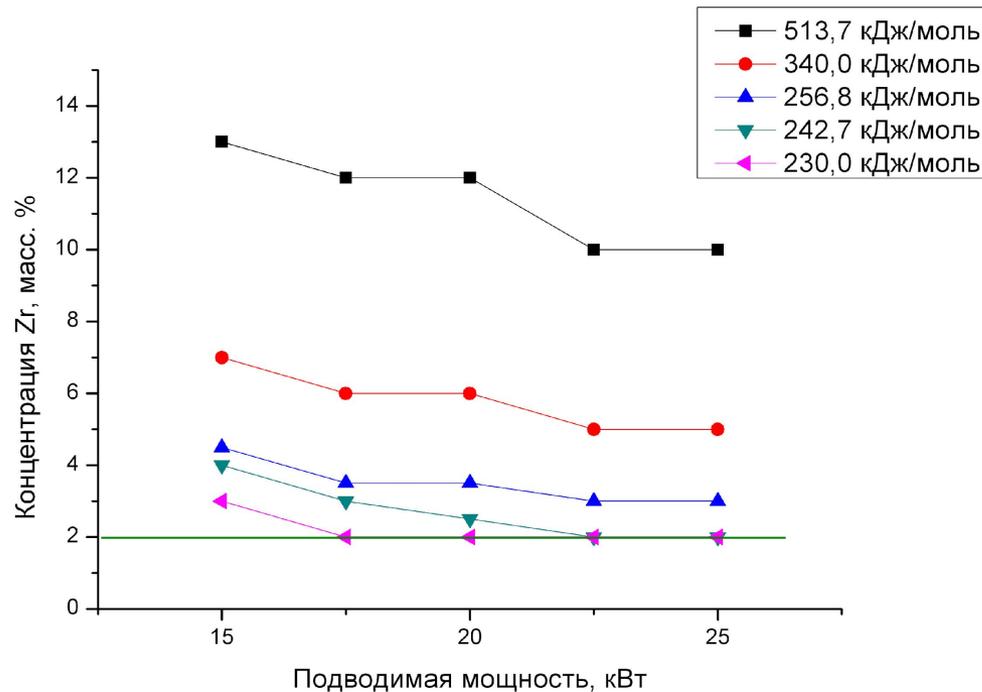


Temperature, T = 57.06 сек.



Эксперимент SACR - 7

Расчётная концентрация циркония



Можно предположить, что теплота разложения гематита в блоке, применявшемся в эксперименте составляет 230-250 кДж/моль

Выводы

- Теплота разложения гематита в составе ЖМ оказывает существенное влияние на процессы, проходящие в УЛР
- Расчёты, проведённые с помощью кода HEFEST-УЛР, показали результаты, близкие к экспериментальным
- Разработан экспериментально-расчётный метод, позволяющий уменьшить неопределённость, связанную с теплотой разложения гематита

Спасибо за внимание!

<http://www.moiseenko.ru/doc/gp.ppt>