

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»  
Филиал «Институт атомной энергии»  
(Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК)

УДК 621.039

**Сулейменов Нурболат Айдынович**

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С  
КОНВЕРТЕРОМ НЕЙТРОНОВ НА ИХ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ**

Работа, представленная на конференцию-конкурс НИОКР  
молодых ученых и специалистов  
Национального ядерного центра Республики Казахстан

(инженерно-технические исследования)

Руководитель: Котов В.М.,  
главный специалист по физике реакторов,  
Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК

г. Курчатов, 2020 г.

## АВТОР

### Сулейменов Нурболат Айдынович

младший научный сотрудник лаборатории исследований теплофизических и нейтронно-физических характеристик облучательных устройств  
Филиала «Институт атомной энергии» РГП «НЯЦ РК»,  
1991 года рождения,  
образование высшее (ГУ имени Шакарима, 2013 г.),  
специальность – «Техническая физика»,  
квалификация по диплому – «Бакалавр технической физики»,  
магистратура (ГУ имени Шакарима, 2015 г.),  
специальность – «Техническая физика»  
квалификация по диплому – «Магистр технических наук»,  
работает с 2015 года в Филиале «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК»,  
общий стаж работы – 4,5 года.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Главный специалист  
по физике реакторов



10.04.2020 В.М. Котов

подпись, дата

Младший научный сотрудник  
лаборатории 222



10.04.2020

Н.А. Сулейменов

подпись, дата

СУЛЕЙМЕНОВ Н.А.

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С КОНВЕРТЕРОМ НЕЙТРОНОВ НА ИХ  
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ**

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов  
Национального ядерного центра Республики Казахстан  
от Филиала «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 10,  
тел. (7-722-51) 3-31-25, (9)2-01 (вн.)  
факс (7-722-51) 3-31-25  
e-mail: [suleimenov@nnc.kz](mailto:suleimenov@nnc.kz)

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 19 страниц, 13 рисунков, 4 таблицы, 6 источников.

**РАДИАЦИОННЫЙ РАЗОГРЕВ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО,  
ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, ТЕПЛОГИДАВЛИЧЕСКИЕ  
РАСЧЕТЫ**

**Объект исследования:** процесс радиационного разогрева конструкционных материалов испытываемых в ИГР экспериментальных устройств.

**Цель работы:** сравнительная оценка теплового состояния модели экспериментального устройства по результатам теплогидравлических расчетов с учетом радиационного разогрева конструкционных материалов.

**Задачи исследований:**

- теплогидравлические расчеты с учетом и без учета радиационного разогрева конструкционных материалов экспериментального устройства в штатном и аварийном режимах работы;
- сравнительный анализ теплового состояния экспериментального устройства по результатам теплогидравлических расчетов;
- оценка необходимости учета радиационной составляющей энерговыделения в конкретных конструкционных материалах.

**Методика исследования:** моделирование посредством вычислительных компьютерных программ, анализ расчетных данных.

**Результаты работ:** результаты освещены в публикации в журнале Вестник НЯЦ РК, включены в отчет по анализу условий безопасного проведения экспериментов на реакторе ИГР.

**Актуальность:** Каждый эксперимент, проводимый на КИР ИГР, требует тщательной подготовки, корректной обработки экспериментальных данных и комплекса теплогидравлических и нейтронно-физических расчетов. На этапе подготовительных работ одной из важных особенностей, в значительной мере влияющей на точность реализации параметров эксперимента, является определение энерговыделения в различных элементах тепловыделяющей сборки. В настоящее время определяется основная часть энерговыделения в ТВС, связанная с делением ядер. Методики расчетов предполагают возможность задания постоянных значений удельного энерговыделения в конструкционных материалах, формирующегося за счет радиационного разогрева. В связи с этим для полноты картины распределения температурного поля во всем экспериментальном устройстве и его защитном барьере необходимо учесть радиационную составляющую энерговыделения в различных конструкционных материалах.

**Научная новизна:** результаты работы позволят разработать и обосновать предложения по методикам учета радиационного разогрева конструкционных материалов при проведении теплогидравлических расчетов экспериментальных устройств.

**Практическая ценность:** учет радиационного разогрева всех конструкционных материалов позволяет более точно оценить температурный режим испытываемых экспериментальных устройств.

**Личный вклад автора:** построение расчетных моделей, проведение теплофизических расчетов, обработка и анализ результатов.

**Степень завершенности:** в продолжение работы следует провести дополнительные расчеты теплового состояния устройства с учетом запаздывающего гамма-излучения.

**Уровень технических решений:** разработаны пользовательские функции для программы ANSYS Fluent, учитывающие как высотное, так и временное распределение энерговыделения в различных элементах устройства.

**Публикации:** «Обоснование технологии экспериментальных исследований твэлов быстрых реакторов в ИГР» Вестник НЯЦ, выпуск №1 (81), 2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1 Экспериментальное устройство с конвертером нейтронов .....	7
2 Теплогидравлические расчеты устройства.....	9
2.1 Условия теплогидравлических расчетов и расчетные модели.....	9
2.2 Теплогидравлический расчет устройства без учета радиационного разогрева конструкционных материалов.....	11
2.2.1 Исходные данные .....	11
2.2.2. Результаты расчета.....	12
2.3 Теплогидравлический расчет устройства с учетом радиационного разогрева конструкционных материалов и защитных барьеров .....	13
2.3.1 Исходные данные .....	13
2.3.2. Результаты расчета.....	14
3 Сравнительный анализ теплового состояния.....	15
Заключение .....	18
Список использованных источников .....	19

## Введение

На комплексе исследовательского реактора ИГР Филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК проводятся внутрореакторные эксперименты по испытанию и изучению поведения тепловыделяющих сборок перспективных реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, а также характеристик протекания тяжелых аварий, сопровождающихся плавлением элементов активной зоны.

К одним из таких экспериментов относится внутрореакторное испытание устройства с конвертером нейтронов (ЭУ с КН) [1], обеспечивающего изменение спектра нейтронов реактора ИГР из теплового в быстрый. Для успешного проведения испытания необходимо провести ряд теплогидравлических расчетов, наиболее точно моделирующих тепловое состояние экспериментального устройства и позволяющие обосновать безопасные условия проведения эксперимента.

В данной работе приведены результаты нестационарных расчетов теплового состояния экспериментального устройства с энерговыделением как в топливе, так и в нетопливных материалах, имитирующих соответственно энергию деления ядер в ТВЭлах и воздействия мгновенного гамма-излучения на конструкционные материалы.

## 1 Экспериментальное устройство с конвертером нейтронов

Общий вид экспериментального устройства с конвертером нейтронов (ЭУ с КН) показан на рисунке 1. Основными элементами конструкции ЭУ с КН являются силовой корпус и внутренние элементы.

Силовой корпус состоит из следующих элементов (рисунок 1):

- ампула;
- ловушка;
- секция испытательная.

В состав ампулы WF входят:

- корпус;
- крышка;
- крепежные детали.

Ловушка несет роль защитного барьера от теплового и механического воздействия на корпус ампулы и состоит из обечайки и стакана.

Основным объектами испытаний являются твэлы, расположенные в испытательной секции. В устройстве имеется два твэла – верхний и нижний. Параметры твэлов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры твэлов

Параметр	Значение
Топливо	UO <sub>2</sub>
Обогащение топлива по <sup>235</sup> U, % в верхнем твэле в нижнем твэле	~17 ~0,27
Плотность топлива, г/см <sup>3</sup>	10,3 – 10,8
Диаметр, мм топливной таблетки наружный центрального отверстия (для верхнего твэла)	5,9±0,02 1,5±0,1
Высота топливного столба в твэлах, мм	300
Количество топлива, кг в верхнем твэле в нижнем твэле	0,08 0,086
Количество активационных детекторов, шт в верхнем твэле	3,0

Оба твэла набираются из топливных таблеток типа БН-350, высота топливного столба в обоих твэлах одинакова и равна 300 мм. Топливные таблетки расположены в оболочке, представляющей собой трубку из стали Х16Н15М3Б и с размерами 6,9×0,4 мм. С торцов твэлы закрыты заглушками. Твэлы охлаждаются азотом, подающимся с температурой ~293 К.

Верхний твэл содержит топливные таблетки из диоксида урана массой около 80 г с обогащением 17 % по <sup>235</sup>U, а также конвертер тепловых нейтронов в быстрые, представляющей собой кадмиевый поглотитель, выполненный в виде трубки размером 18×1 и длиной 400 мм.

Нижний твэл не содержит конвертера и набирается из топливных таблеток из диоксида урана массой около 86 г с обогащением 0,27 % по <sup>235</sup>U.



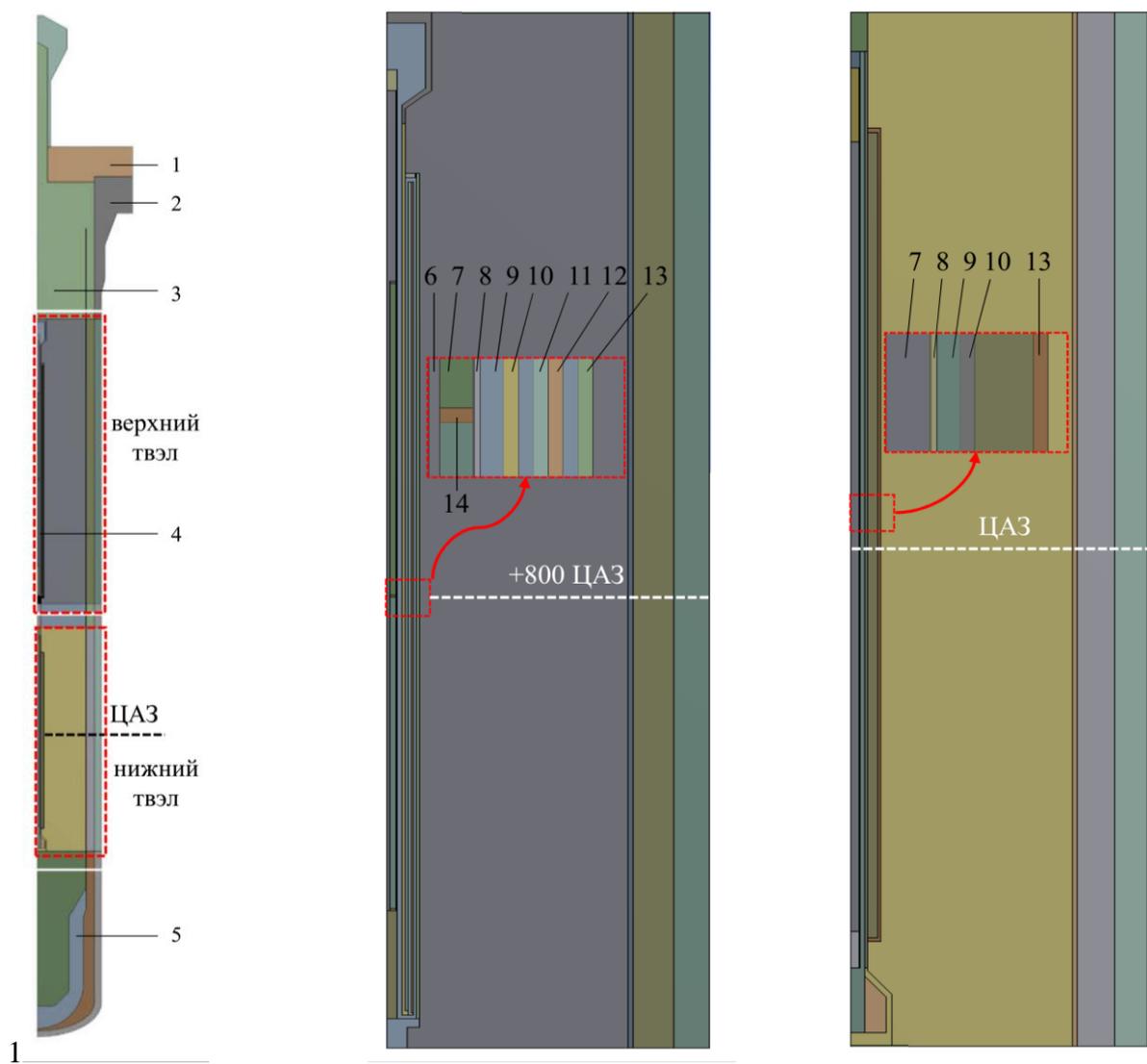
## 2 Теплогидравлические расчеты устройства

### 2.1 Условия теплогидравлических расчетов и расчетные модели

Целью теплогидравлических расчетов ЭУ с КН является определение максимальных значений температуры элементов испытательной секции при различной температуре АЗ, разогревающейся во время работы реактора.

Для проведения теплогидравлических расчетов в программе SolidWorks [2] была разработана двумерная осесимметричная модель экспериментального устройства (рисунок 2а). Затем модель импортирована в программный комплекс ANSYS 14.5 [3], в котором был проведен расчет.

В целях оптимизации расчета и снижения вычислительной нагрузки модель предварительно в модуле Ansys Design Modeler была разбита на части, содержащие верхний и нижний твэл соответственно (рисунок 2б и 2в). Для каждой части был проведен отдельный расчет.



а) общий вид модели

б) модель с верхним твэлом

в) модель с нижним твэлом

1 – крышка ампулы; 2 – корпус ампулы; 3 – полость ампулы; 4 – испытательная секция; 5 – стакан ловушки; 6 – зазор; 7 – топливо; 8 – оболочка; 9 – азот; 10 – обечайка внутренняя; 11 – тепловой экран; 12 – кадмиевый поглотитель; 13 – обечайка наружная

Рисунок 2 – Расчетная модель

Мощность реактора в эксперименте составляет 5,24 МВт, а диаграмма ее изменения имеет следующий вид (рисунок 3). При такой диаграмме реализуется режим импульса с энерговыделением в 5,2 ГДж в течение 1000 с.

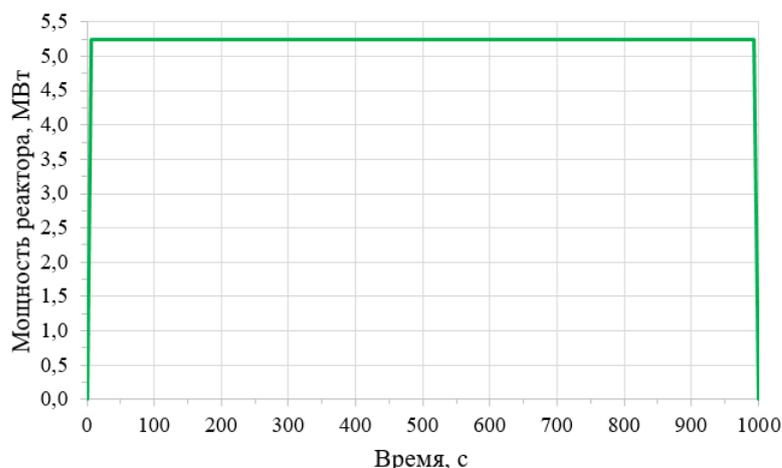


Рисунок 3 – Диаграмма изменения мощности реактора

Нейтронно-физические характеристики экспериментального устройства были получены ранее в программе MCNP [4] с использованием модели реактора [5] и применены в качестве исходных данных для проведения настоящего расчета. В элементах модели было задано объемное энерговыделение, моделирующее высвобождение энергии деления ядер и радиационный разогрев конструкционных материалов.

Так как температура АЗ реактора повышается с ростом интегрального энерговыделения, то в адиабатическом приближении в соответствии с диаграммой был рассчитана зависимость изменения температуры АЗ от энерговыделения в реакторе (рисунок 4, таблица 1). При достижении температуры АЗ 1293 К предполагается выделение энергии в 5200 МДж [6].

Таблица 1 – Зависимость температуры АЗ от энерговыделения

№	Время	Температура АЗ, К	Энерговыделение в реакторе, МДж
1	0,0	294,0	0,0
2	7,0	302,1	18,3
3	71,2	400,0	354,4
4	148,5	500,0	759,3
5	235,5	600,0	1214,8
6	330,4	700,0	1711,7
7	431,8	800,0	2242,8
8	650,0	1000,0	3385,9
9	884,1	1200,0	4611,3
10	993,0	1289,7	5181,7
11	1000,0	1293,0	5200,0

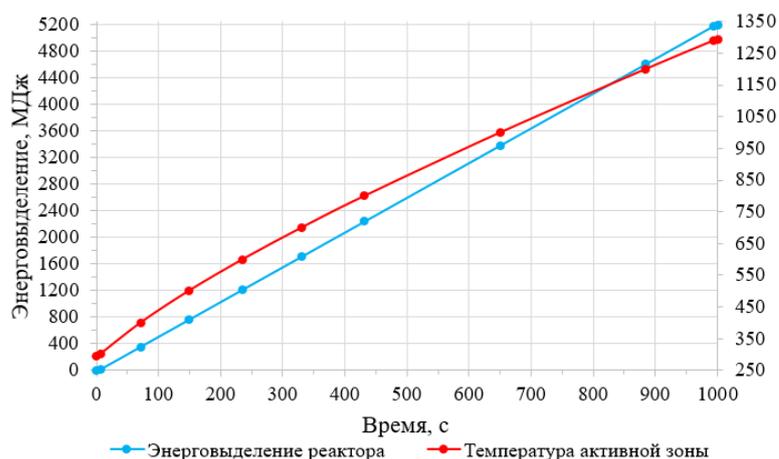


Рисунок 4 – Зависимость температуры АЗ от энерговыделения

Общие условия теплогидравлических расчетов следующие:

- учтена неравномерность энерговыделения по высоте АЗ ИГР как в топливе, так и в конструкционных элементах;
- учтено изменение отношения мощности устройства к мощности реактора, связанное с изменением температуры АЗ ИГР;
- начальная температура всех элементов в модели составляет 293 К;
- передача теплоты между элементами осуществляется за счет теплопроводности и конвективного теплообмена;
- расход охлаждающего азота составляет 2 г/с для каждого ТВЭЛ;
- охлаждение корпуса ампулы отсутствует.

## 2.2 Теплогидравлический расчет устройства без учета радиационного разогрева конструкционных материалов

### 2.2.1 Исходные данные

Исходные данные приведены в таблице 2. Мощность верхнего ТВЭЛ с топливом высокого обогащения при температуре АЗ 294 К немного выше мощности нижнего ТВЭЛ с топливом низкого обогащения, а в диапазоне температуры АЗ 400÷1000 К (71÷650 с от начала диаграммы) в графике (рисунок 5) мы наблюдаем провал и дальнейший рост при температуре АЗ 1000 К (650 с от начала диаграммы). Мощность нижнего ТВЭЛ постоянно растет и имеет прямолинейный характер.

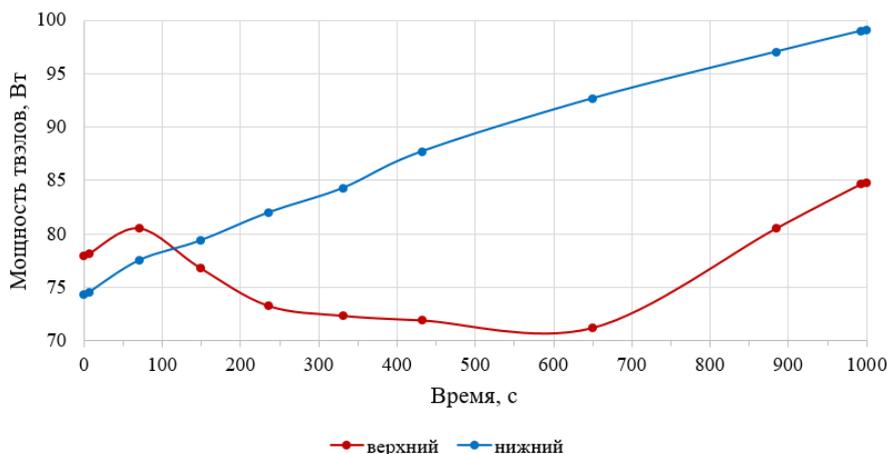


Рисунок 5 – Изменение мощности ТВЭЛов во времени

Таблица 2 – Исходные данные

№	Время, с	Температура АЗ, К	Мощность в топливе, Вт	
			Верхний твэл	Нижний твэл
1	0,0	294,0	78,00	74,33
2	7,0	302,1	78,20	74,58
3	71,2	400,0	80,57	77,57
4	148,5	500,0	76,87	79,38
5	235,5	600,0	73,32	82,01
6	330,4	700,0	72,38	84,29
7	431,8	800,0	71,94	87,72
8	650,0	1000,0	71,23	92,69
9	884,1	1200,0	80,53	97,04
10	993,0	1289,7	84,70	98,99
11	1000,0	1293,0	84,83	99,05

Для задания неравномерного профиля энерговыделения в топливе была разработана пользовательская функция для программы Ansys Fluent. В соответствии с функцией топливо условно делится на 10 частей, в каждой из которых задается объемное энерговыделение. Функция учитывает изменение энерговыделения во времени в отдельных частях топлива (рисунок 6). Нумерация частей топлива от 1 до 10 сверху вниз.

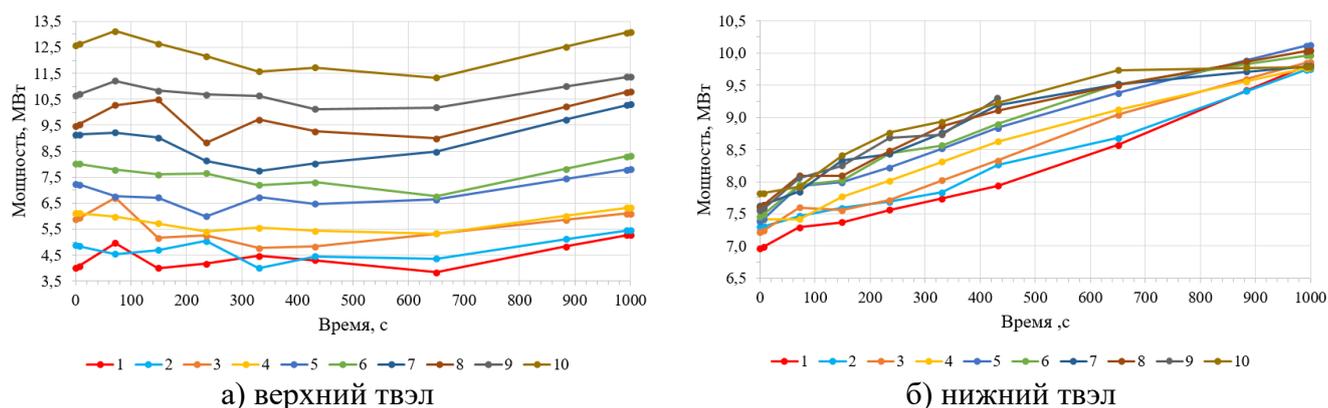


Рисунок 6 – Изменение энерговыделения во времени в отдельных частях топлива

### 2.2.2. Результаты расчета

По результатам расчета получены максимальные значения элементов в модели экспериментального устройства. Для верхнего твэла данные приведены на рисунке 7, для нижнего – на рисунке 8.

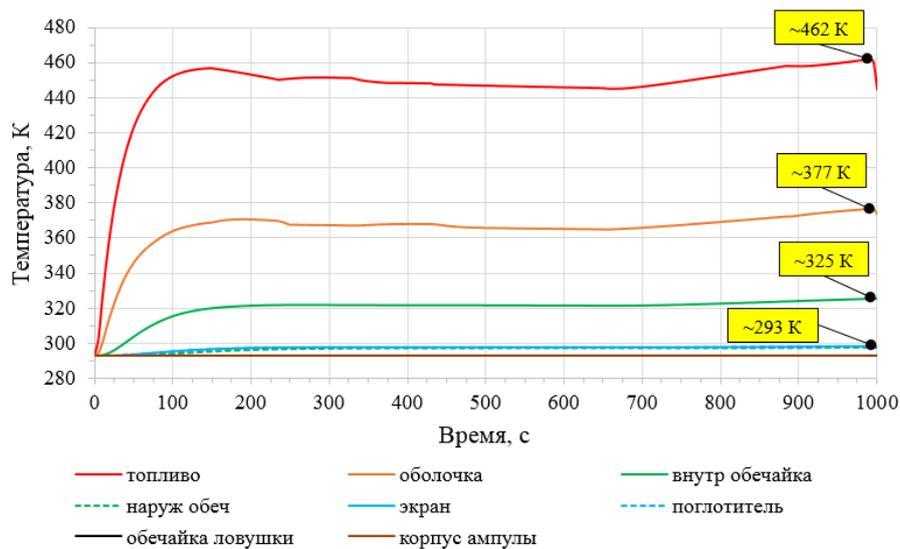


Рисунок 7 – Максимальные значения температуры в модели с верхним твэлом

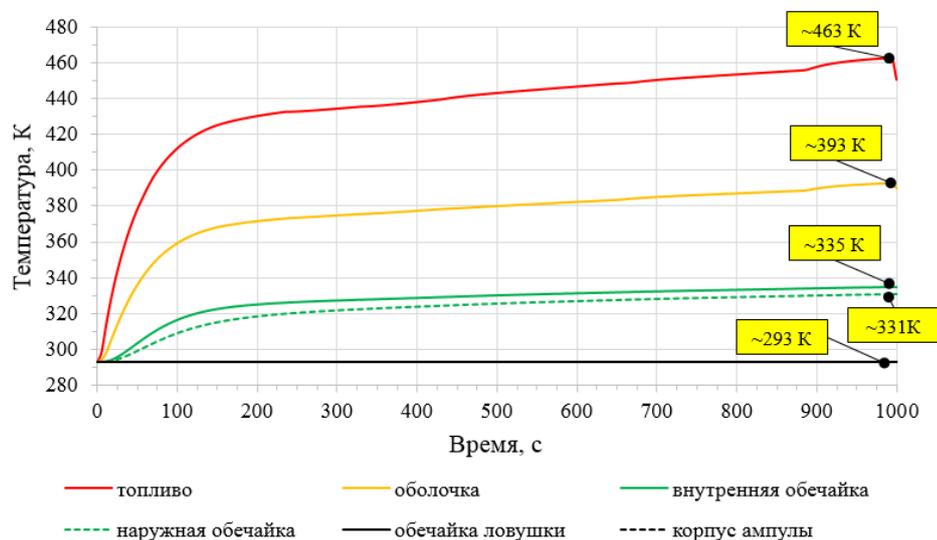


Рисунок 8 – Максимальные значения температуры в модели с нижним твэлом

В данном расчете температура корпуса ампулы и обечайки ловушки не превышают 300 К. Максимальная температура топлива достигает 462÷463 К.

## 2.3 Теплогидравлический расчет устройства с учетом радиационного разогрева конструкционных материалов и защитных барьеров

### 2.3.1 Исходные данные

Исходные данные предыдущего расчета дополнены значениями мощности в конструкционных материалах и защитных барьерах (обечайка ловушки, корпус ампулы) и приведены в таблице 3. Аналогично была разработана пользовательская функция, в соответствии с которой объемы элементов модели, где учитывается радиационный разогрев, разделены по высоте на части: для конструкционных элементов – 10 частей, для обечайки ловушки и корпуса ампулы – 27 и 28 частей соответственно. Функция также учитывает изменение энерговыделения в данных элементах во времени.

Таблица 3 – Исходные данные

№	Время, с	Мощность, Вт									
		верхний ТВЭЛ					нижний ТВЭЛ			обечайка ловушки	корпус ампулы
		оболочка	внутренняя обечайка	тепловой экран	конвертер	наружная обечайка	оболочка	внутренняя обечайка	наружная обечайка		
1	0,0	0,078	4,386	5,948	269,638	9,077	0,295	16,547	31,523	2028,8	11023,5
2	7,0	0,078	4,391	5,957	270,242	9,091	0,295	16,580	31,586	2034,1	11052,4
3	71,2	0,080	4,452	6,063	277,552	9,256	0,303	16,981	32,339	2097,2	11404,0
4	148,5	0,077	4,358	5,926	271,885	9,076	0,313	17,513	33,188	2148,5	11684,9
5	235,5	0,076	4,281	5,853	268,335	8,998	0,316	17,829	33,899	2189,9	11922,7
6	330,4	0,077	4,310	5,870	271,904	8,989	0,328	18,328	34,890	2232,1	12158,0
7	431,8	0,079	4,412	5,925	276,040	9,096	0,334	18,929	35,829	2272,2	12362,0
8	650,0	0,081	4,631	6,338	298,802	9,671	0,354	19,757	37,661	2345,1	12765,1
9	884,1	0,092	5,196	7,065	342,394	10,853	0,364	20,369	38,771	2417,3	13158,4
10	993,0	0,097	5,449	7,390	361,946	11,383	0,369	20,643	39,269	2449,7	13334,8
11	1000,0	0,097	5,457	7,401	362,569	11,400	0,369	20,652	39,285	2450,7	13340,4

### 2.3.2. Результаты расчета

По результатам расчетов получены максимальные значения элементов в модели экспериментального устройства. Для верхнего ТВЭЛ данные приведены на рисунке 9, для нижнего на рисунке 10.

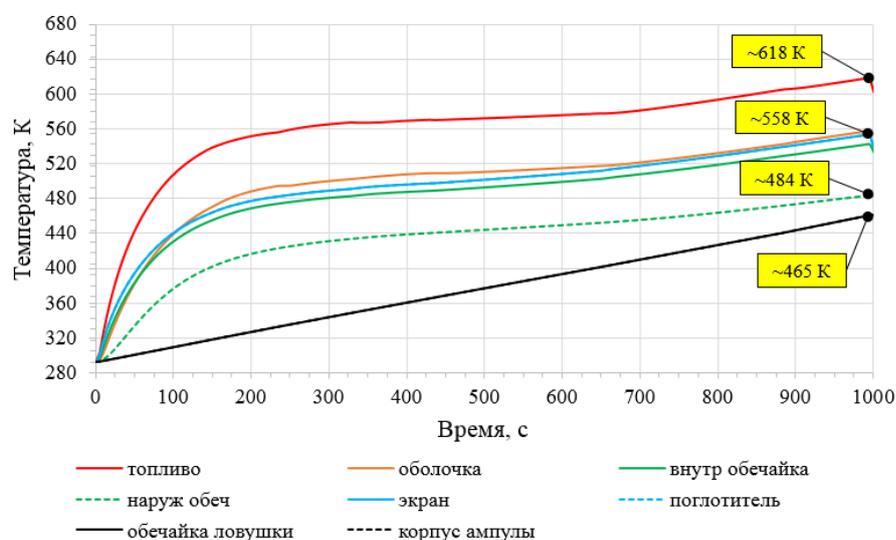


Рисунок 9 – Максимальные значения температуры в модели с верхним ТВЭЛОМ

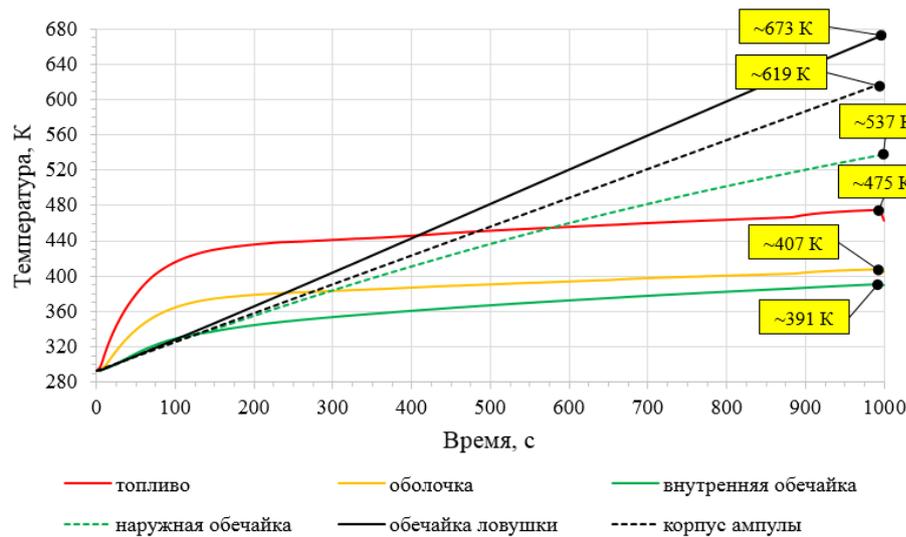


Рисунок 10 – Максимальные значения температуры в модели с нижним ТВЭЛом

В проведенном расчете температура корпуса ампулы и обечайки ловушки достигают 690 К и 673 К на уровне «0 мм» от ЦАЗ. Максимальные значения температуры топлива в верхнем и нижнем ТВЭлах составят 618 К и 475 К соответственно.

### 3 Сравнительный анализ теплового состояния

Рассмотрим высотное распределение температуры элементов ТВЭла (топливо, оболочка, внутренняя и наружная обечайки, конвертер, тепловой экран) и защитных барьеров (обечайка ловушки, корпус ампулы). На рисунке 11а показано распределение температуры в устройстве без учета радиационного разогрева, на рисунке 11б – с учетом радиационного разогрева на 990 с диаграммы.

Как видно из рисунка 11а, если не учитывать радиационный разогрев конструкционных материалов, эффективности системы охлаждения (при расходе азота 2 г/с на каждый ТВЭЛ) достаточно для поддержания температуры элементов испытательной секции в довольно низких диапазонах. При учете воздействия мгновенного гамма-излучения на конструкционные материалы, т.е. при их радиационном разогреве, температурный режим устройства меняется. Температура материалов с большим сечением поглощения нейтронов, в данном случае конвертера нейтронов из кадмия, возрастает.

На рисунке 12 показано высотное распределение удельной мощности элементов экспериментального устройства в логарифмической шкале. Из рисунка видно, что в устройстве мгновенное гамма-излучение вносит наибольший вклад в поглотитель – в нем выделяется до  $3 \times 10^4$  кВт/м<sup>3</sup>. Удельная мощность в топливе находится на уровне  $\sim 1,23 \times 10^4$  кВт/м<sup>3</sup>, а для наружной и внутренней обечайек, теплового экрана, обечайки ловушки и корпуса ампулы сравнима и находится в пределах от  $5,9 \times 10$  кВт/м<sup>3</sup> до  $1,4 \times 10^3$  кВт/м<sup>3</sup>. Для оболочек ТВЭлов эта величина мала (от  $2,3 \times 10$  кВт/м<sup>3</sup> до  $1,35 \times 10^2$  кВт/м<sup>3</sup>).

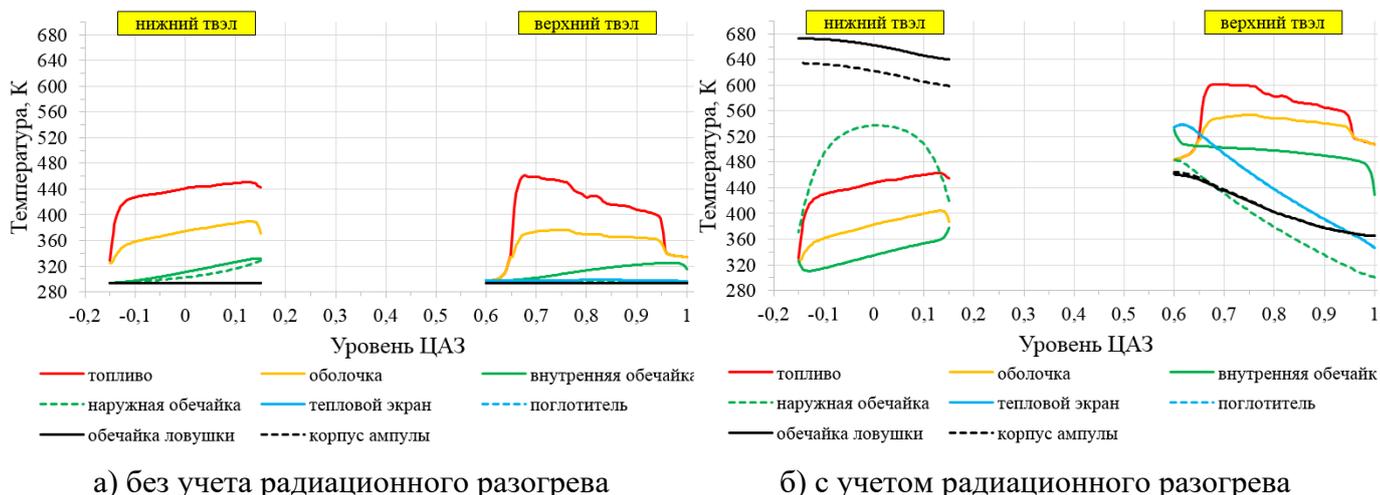


Рисунок 11 – Высотное распределение температуры в устройстве

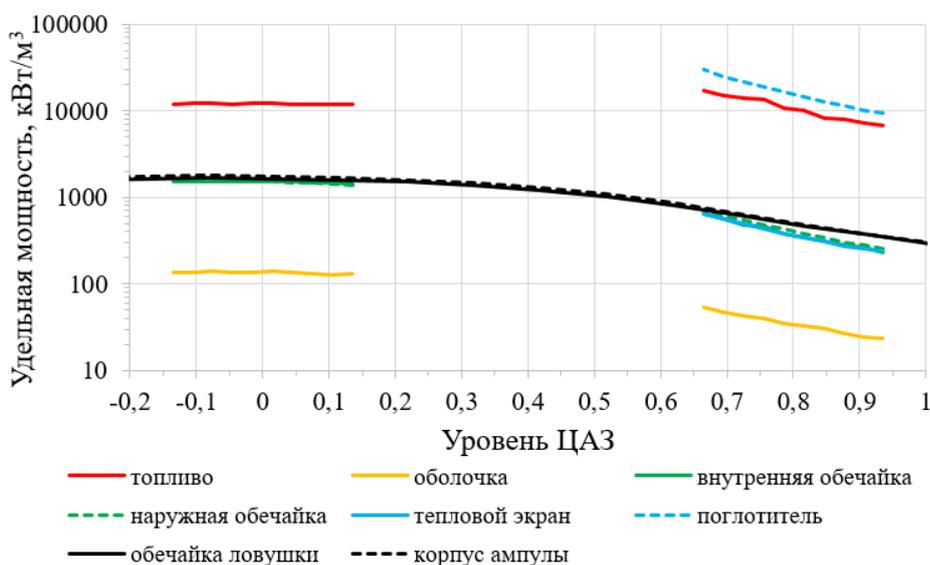


Рисунок 12 – Высотное распределение удельной мощности в устройстве

Максимальные значения температуры элементов и среднее значение температуры азота на выходе приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения температуры

Учет радиационного разогрева	ТВЭЛ	Т <sub>макс</sub> , К								Т <sub>ср</sub> , К
		топливо	оболочка	внутренняя обечайка	экран	конвертер	наружная обечайка	корпус ампулы	обечайка ловушки	азот
без учета	верхний	462	377	325	299	298	297	293	293	332
	нижний	463	393	335	331			293	293	339
с учетом	верхний	618	558	541	553	553	484	465	462	504
	нижний	475	407	391	537			690	673	360

В проведенных расчетах при расходе азота 2 г/с в верхнем ТВЭЛе максимальная температура конвертера без учета его радиационного разогрева составляет 298 К, а с учетом радиационного

разогрева равна 553 К с запасом до температуры плавления 41 К. Следовательно, данное значение расхода является минимальным для недопущения расплавления конвертера в настоящей конструкции устройства.

Рассмотрим радиальное распределение в модели устройства в расчетах с учетом радиационного разогрева и без его учета (рисунок 13) на высоте «+800 мм» от ЦАЗ и «0 мм», т.е. в середине верхнего и нижнего твэлов.

На высоте «0 мм» от ЦАЗ в обоих расчетах температура топлива меняется незначительно. При учете радиационного разогрева температура корпуса ампулы становится выше температуры топлива из-за отсутствия его охлаждения. В этом случае обечайка ловушки разогревается до 465 К, а корпус ампулы до 619 К, что находится в пределах допустимого значения в 623 К.

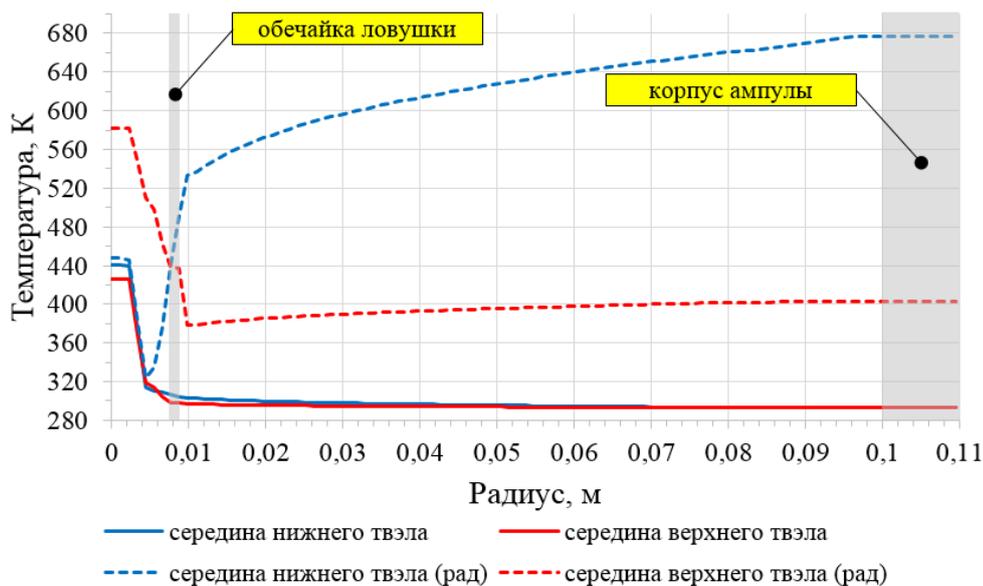


Рисунок 13 – Высотное распределение температуры в устройстве с учетом радиационного разогрева

На высоте «+800 мм» от ЦАЗ рост температуры защитных барьеров составляет  $\sim(100\div 150)$  К – температура корпуса ампулы возрастает до 390 К, а обечайки ловушки до 438 К. Существенный вклад на изменение температурного режима верхнего твэла вносит конвертер из кадмия, т.к. наибольшее тепло выделяется именно в нем. Конструкция системы охлаждения верхнего твэла устроена таким образом, что азот на входе в первую очередь охлаждает конвертер, а затем твэл, что объясняет повышение температуры топлива в расчете с учетом радиационного разогрева.

Таким образом, для получения более точного распределения температуры в устройстве, и как следствие, повышения представительности теплогидравлических расчетов, необходимо учитывать радиационный разогрев конструкционных материалов и, кроме этого, прорабатывать диаграмму изменения мощности экспериментального устройства в зависимости от температуры АЗ реактора. Разработка и применение пользовательских функций в программном модуле ANSYS Fluent позволяет учитывать неравномерность энерговыделения как по высоте элементов устройства, так и во времени.

## Заключение

Рассмотрены основные элементы экспериментальной установки с конвертером нейтронов. Разработаны расчетные модели устройства, пользовательские функции, учитывающие временное и высотное распределение энерговыделения в топливе, конструкционных материалах и защитных барьерах устройства.

Проведены теплогидравлические расчеты экспериментального устройства с учетом и без учета радиационного разогрева конструкционных материалов за счет мгновенного гамма-излучения. Выяснено, что значение расхода азота 2 г/с на каждый твэл, если не учитывать радиационный разогрев конструкционных материалов, было достаточным для охлаждения твэлов при длительности диаграммы 1000 с. В расчетах с учетом радиационного разогрева конструкционных материалов данное значение является минимально допустимым для охлаждения элементов испытательной секции. В оболочках твэлов удельная мощность радиационного разогрева мала.

По результатам расчетов выполнена сравнительная оценка распределения температуры элементов устройства. С учетом радиационного разогрева конструкционных материалов тепловая нагрузка на элементы устройства возрастает. Температура корпуса ампулы на уровне «0 мм» от ЦАЗ находится в пределах допустимого значения.

Учет радиационного разогрева конструкционных материалов является важной задачей в подготовке проведения испытаний и обоснования безопасности конструкции экспериментального устройства. Вышеуказанные замечания будут учтены при разработке программы испытаний ЭУ с КН.

Работа выполнена в рамках стипендии Генерального директора НЯЦ РК по теме «Оценка влияния радиационного разогрева конструкционных материалов экспериментальных устройств на их температурный режим».

## Список использованных источников

- 1 Устройство экспериментальное с конвертером нейтронов: техническое задание на разработку технического проекта и рабочей документации / Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК.– Курчатов, 28.02.2019.– Инв. № 11-220-02/938вн.
- 2 SolidWorks Premium 2014 x64 Edition. SP 5.0 [Электронный ресурс]: 1995-2014 Dassault Systemes.– Электрон. дан. и прогр.– [Б. м.], 2014.
- 3 ANSYS release 14.5 Documentation for ANSYS WORKBENCH [Электронный ресурс]: ANSYS Inc.– Электрон. дан. и прогр.– [Б. м.], 2014.
- 4 MCNP-5.1.40 Monte-Carlo N-Particle Transport Code; Los Alamos National Laboratory; Los Alamos, New Mexico.– April 24, 2003.
- 5 А. с. ИС 006968 от 27.12.16 Республика Казахстан. Компьютерная модель реактора ИГР для стационарных нейтронно-физических расчетов / А.Д. Вурим, В.М. Котов, Р.А. Иркимбеков, Л.К. Жагипарова, А.А. Байгожина.– № 2738; 27.12.2016.– 1 с.
- 6 Энерговыведение в модельной ТВС при тепловых испытаниях в импульсной реакторной установке: дис. ... канд. физ-мат. наук.: 01.04.14: защищена 07.10.16 / Р. А. Иркимбеков.– НИ ТПУ.– Томск, 2016.– 129 с.