

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Степень тетрагональности как критерий оценки гидротермальной стойкости керамики Y-TZP

УДК 666.3-13:544.313

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Мусаев Алексей Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов О.Л.	Д.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Толкачёв О.С.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения общетехнических дисциплин	Антоневич О.А.	К.Б.Н.		

По разделу «Приложение. Раздел на английском языке»

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения иностранных языков	Демьяненко Н.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материа- ловедения	Хасанов О.Л.	Д.Т.Н.		

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 22.04.01

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1.	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен реализовывать на производстве технологии сухого компактирования порошковых материалов, используя методы горячего и холодного прессования, ультразвукового и коллекторного компактирования
ПК(У)-2	Способен диагностировать и модернизировать эксплуатационные свойства материалов с учетом наноразмерной составляющей, используя традиционное и современное оборудование и программное обеспечение приборов
ПК(У)-3	Способен исследовать состав и структуру веществ, с учетом специфики наноразмерных материалов, используя современное оборудование и программное обеспечение приборов
ПК(У)-4	Способен прогнозировать влияние микро- и нано- масштаба на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов при выборе и реализации технологии получения объемных наноматериалов
ПК(У)-5	Способен реализовывать технологии получения наноматериалов с учетом ресурсоэффективности и экологической безопасности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 22.04.01_Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ О.Л. Хасанов
(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ02	Мусаеву Алексею Николаевичу

Тема работы:

Степень тетрагональности как критерий оценки гидротермальной стойкости керамики Y-TZP	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-33/с от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	31.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:	1) источники литературы: базы данных www.sciencedirect.com , www.elsevier.com , link.springer.com ; 2) оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета; 3) объект исследования: керамика на основе нанопорошка стабилизированного 3 моль% оксидом иттрия диоксида циркония; 4) требования к результатам: зависимости, демонстрирующие влияние степени тетрагональности на стойкость Y-TZP керамики к гидротермальной деградации.
Перечень Подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:	1) провести литературный обзор по свойствам, механизму стабилизации тетрагональной фазы и деградации керамики на основе ZrO ₂ ; 2) провести рентгенофазовый анализ керамики до и после деградации изучить микроструктуру Y-TZP керамики; 3) определить влияние зависимости степени тетрагональности на стойкость Y-TZP керамики к гидротермальной деградации.

Перечень графического материала:	1) изображения и распределения частиц нанопорошка и зёрен Y-TZP керамики по размерам на основе данных электронной микроскопии 2) зависимости, демонстрирующие влияние степени тетрагональности на стойкость Y-TZP керамики к гидротермальной деградации.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	М. А. Гасанов, д-р эконом. наук, профессор отделения социально-гуманитарных наук ТПУ
Социальная ответственность	О. А. Антонец, к.б.н., доцент отделения общетехнических дисциплин ТПУ
Раздел ВКР на английском языке	Демьяненко Н.В. Старший преподаватель отделения иностранных языков ТПУ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Разделы на русском языке: Литературный обзор; Материал и методики исследования; Результаты; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность

Разделы на английском языке: Material and research methods; Results

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Толкачёв О.С.	-		02.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Мусаев Алексей Николаевич		02.02.2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования магистр
 Отделение школы Отделение материаловедения
 Период выполнения весенний семестр 2021 / 2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2022	1. Литературный обзор	20
01.04.2022	2. Экспериментальная часть	20
01.05.2022	3. Обсуждение результатов и оформление работы	30
20.05.2022	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	10
20.05.2022	5. Социальная ответственность	10
20.05.2022	6. Обязательное приложение на иностранном языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов О.Л.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения материаловедения	Хасанов О.Л.	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 134 с., 17 рис., 31 табл., 58 источников, 2 прил.

Ключевые слова: керамика, диоксид циркония, степень тетрагональности, гидротермальная деградация, Y-TZP, LTD.

Объектом исследования является: керамика на основе нанопорошка стабилизированного 3 моль% оксидом иттрия диоксида циркония.

Цель работы – Определение влияния степени тетрагональности на стойкость керамики на основе Y-TZP к гидротермальной деградации.

В процессе исследования проводились: СЭМ, РФА.

В результате исследования: определено влияние степени тетрагональности на стойкость керамики на основе Y-TZP к гидротермальной деградации.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: степень тетрагональности, содержание моноклинной фазы, размер зерна.

Степень внедрения: промежуточная.

Области применения: электротехника, авиа-, ракето- и машиностроение, энергетика, химическая промышленность, гидротехника, фармацевтика, медицина.

Экономическая эффективность/значимость работы: создание нового метода неразрушающего контроля и упрощение задачи оптимизации технологии изготовления Y-TZP керамики.

В будущем планируется: провести исследования с порошком легированным оксидом алюминия, определить влияние степени тетрагональности на механические характеристики керамики, провести патентование методики.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

Y-TZP – стабилизированный оксидом иттрия тетрагональный диоксид циркония (от англ. yttria stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramic);

LTD – низкотемпературная/гидротермальная деградация (от англ. yttria stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramic);

T→M – тетрагонально-моноклинная;

SPS / ИПС – искровое плазменное (электроимпульсное) спекание (от англ., spark plasma sintering);

РФА – рентгенофазовый анализ;

МНК – метод наименьших квадратов;

c/a – степень тетрагональности.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1 свойства Y-TZP керамики.....	12
1.1 Физико-механические	12
1.2 Механизм трансформационного упрочнения	12
1.3 Стабилизация ZrO ₂	14
1.3.1 Легирование	14
1.3.2 Оптимизация технологии изготовления.....	15
1.4 Механизм гидротермальной низкотемпературной деградации.....	17
2 Стандарты LTD испытаний	19
2.1 Определение содержания моноклинной фазы и метод Ритвельда	20
3 Материал и методики исследования	24
3.1 Материал.....	24
3.2 Технология изготовления и подготовки образцов	24
3.2 LTD испытания.....	25
3.3 Исследования образцов.....	25
4 Результаты	27
4.1 Характеризация исходного порошка.....	27
4.2 Изготовление образцов	28
4.3 Анализ РФА.....	29
4.4 Анализ СЭМ	32
4.5 Сравнение результатов РФА и СЭМ	35
Выводы	36
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	38
5.1 Предпроектный анализ.....	38
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	38
5.1.2 Анализ конкурентных решений.....	39
5.1.3 SWOT-анализ.....	41
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	43

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	44
5.2 Инициация проекта	45
5.2.1 Цели и результаты проекта	45
5.2.2 Ограничения и допущения проекта	46
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом	46
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта	46
5.3.2 План проекта	47
5.3.3 Бюджет научного исследования	49
5.3.4 Организационная структура проекта	53
5.3.5 План управления коммуникациями проекта	54
5.3.6 Реестр рисков проекта	54
5.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	55
5.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	55
5.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	60
5.5 Заключение по разделу	63
6 Социальная ответственность	66
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	66
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	67
6.3 Производственная безопасность при эксплуатации	67
6.3.1 Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	68
6.3.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током	69
6.3.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды	70
6.3.4 Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека	71

6.3.5 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	71
6.3.6 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	73
6.3.7 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	73
6.3 Экологическая безопасность	75
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
6.4.1 Анализ наиболее типичных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	76
6.5 Заключение по разделу	77
Заключение	79
Список публикаций	80
Список использованных источников	81
Приложение А	87
Приложение Б	99

ВВЕДЕНИЕ

Керамика из диоксида циркония применяется для производства широкой номенклатуры изделий, начиная от пьезокерамики, изоляторов высоковольтных линий, коррозионно- и абразивно стойких труб, клапанов и запорной арматуры, термостойких покрытий лопаток реактивных двигателей и ракетных сопел, и заканчивая мелющими телами для фармацевтической промышленности, дентальными и суставными эндопротезами, а также зубными коронками [1–7]. Такое распространение обусловлено уникальным сочетанием низкой химической активности и высоких прочностных характеристик [8].

Отличительные показатели трещиностойкости и модуля Юнга диоксида циркония являются следствием трансформационного упрочнения тетрагональной фазы [9]. Единственным недостатком ZrO_2 является спонтанная фазовая $T \rightarrow M$ (тетрагонально-моноклинная) трансформация в условиях низких температур и повышенной влажности, в результате чего значительно деградируют механические характеристики. Для стабилизации тетрагональной фазы используют различные оксиды редкоземельных металлов, наибольшее распространение получили составы с добавлением оксида иттрия, сокращаемые Y-TZP (от англ. yttria stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramic) [10].

Существующие исследования гидротермальной деградации частично стабилизированного иттрием тетрагонального диоксида циркония показывают значительные различия динамики процесса *in vivo* и *in vitro* [10,11]. Данный факт указывает на несостоятельность существующих стандартов ускоренной деградации, что значительно усложняет задачу оптимизации процесса спекания керамики.

Данная работа посвящена разработке новой методики оценки гидротермальной стойкости Y-TZP керамики. Основная идея заключается в использовании степени тетрагональности кристаллической решетки как критерия оценки гидротермальной стойкости керамики Y-TZP.

1 СВОЙСТВА Y-TZP КЕРАМИКИ

1.1 Физико-механические

Основная причина распространения применения диоксид-циркониевой керамики заключается в её физико-механических характеристиках. Для наглядности проведём её сравнение с титаном, широко применяемым в авиакосмической промышленности и эндопротезировании [12,13]:

Таблица 1 – Физико-механические характеристики Y-TZP и Ti [8,14]

Свойство	Y-TZP	Ti
Плотность, г/м ³	5–6,15	4,51
Температура плавления, °C	2625±75	1668±4
Коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	11	8,9
Теплопроводность, Вт/(м×град)	1,7–2,7	16,76
Предел прочности при растяжении, МПа	214000	275–735
Модуль нормальной упругости, ГПа	214	116
Модуль сдвига, ГПа	82,3	43
Твердость, HV	1250	200-260
Сопротивление на излом, МПа/м ²	5	28–108

Как можно видеть из таблицы 1 температура плавления керамики на основе ZrO₂ в 1,5 раза выше, чем у титана, теплопроводность меньше в 6 раз, предел прочности при растяжении больше на три порядка, а модули упругости и сдвига достигают почти двукратного значения. В сочетании с высокой твёрдостью и износостойкостью, сопротивлению к воздействию агрессивных химических сред и низким коэффициентом трения после полировки, данный комплекс характеристик делает керамику на основе циркония важным, а иногда и незаменимым материалом для современной промышленности и медицины.

1.2 Механизм трансформационного упрочнения

Отличительные физико-механические характеристики керамики на основе Y-TZP обусловлены фазовым T→M превращением, носящим мартенситный характер. Мартенситное превращение — это «изменение кристаллической структуры, которое является атермическим, бездиффузионным и связано с од-

новременным совместным перемещением атомов на расстояния, меньше атомного диаметра, что приводит к макроскопическому изменению формы преобразованных областей [10], его суть заключается в следующем:

При образовании трещины в объёме тетрагонального диоксида циркония возникают распространяющиеся поля напряжений, они провоцируют трансформацию ближайших зёрен в моноклинную фазу. Моноклинная фаза обладает большим объёмом по сравнению с тетрагональной, в результате создаётся давление, препятствующее дальнейшему распространению трещины [15]. На рисунке 1 схематически показано возникновение и остановка трещины в объёме тетрагонального ZrO_2 .

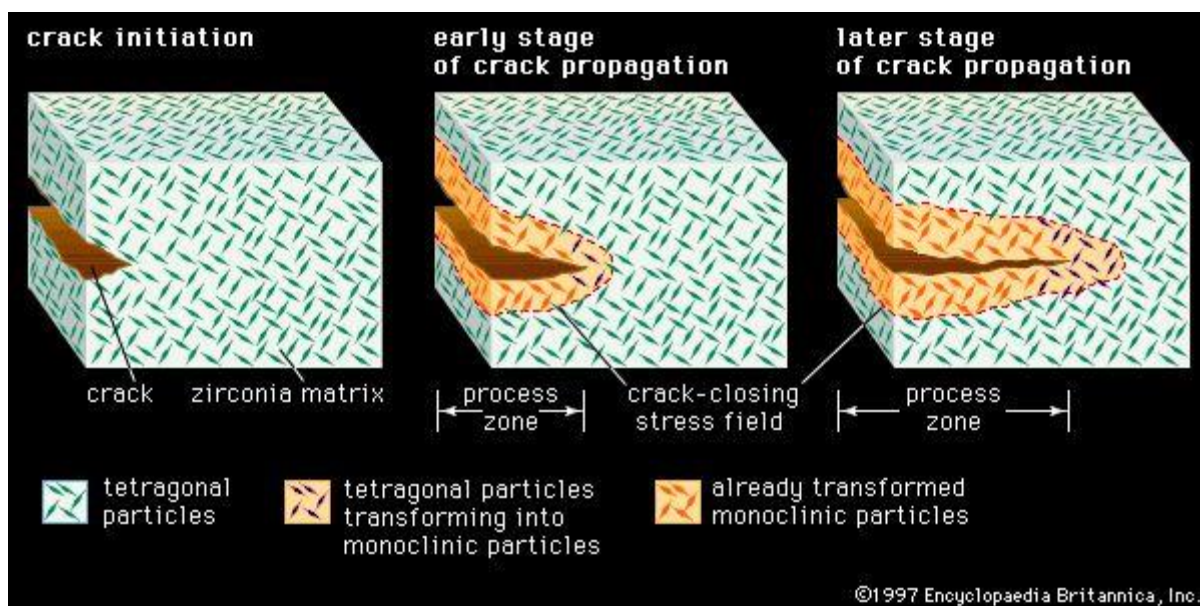


Рисунок 1 – Механизм трансформационного упрочнения тетрагонального ZrO_2 [15]

Данный механизм не проявляется у кубической фазы, поэтому задача точного определения количества тетрагональной фазы наиболее способной к трансформации является важной для предсказания свойств готовой керамики.

1.3 Стабилизация ZrO_2

1.3.1 Легирование

Основная задача при стабилизации тетрагональной или кубической фазы диоксида циркония заключается в создании такой термодинамической системы, в которой моноклинная фаза имела бы меньшую вероятность существования при более высоких температурах. Добавление оксидов редкоземельных металлов включает в кислородную подрешётку ZrO_2 вакансии (рис. 2). Их наличие приводит к созданию внутренних напряжений препятствующих Т→М трансформации. Роль атомов металлов заключается в создании центров поляризации и притяжения, которые уменьшают объем элементарной ячейки диоксида циркония. При этом силы отталкивания преодолевают силы притяжения в моноклинной структуре, что приводит к образованию кубической и тетрагональной фаз при стандартных условиях окружающей среды и, следовательно, к дестабилизации моноклинной структуры [17].

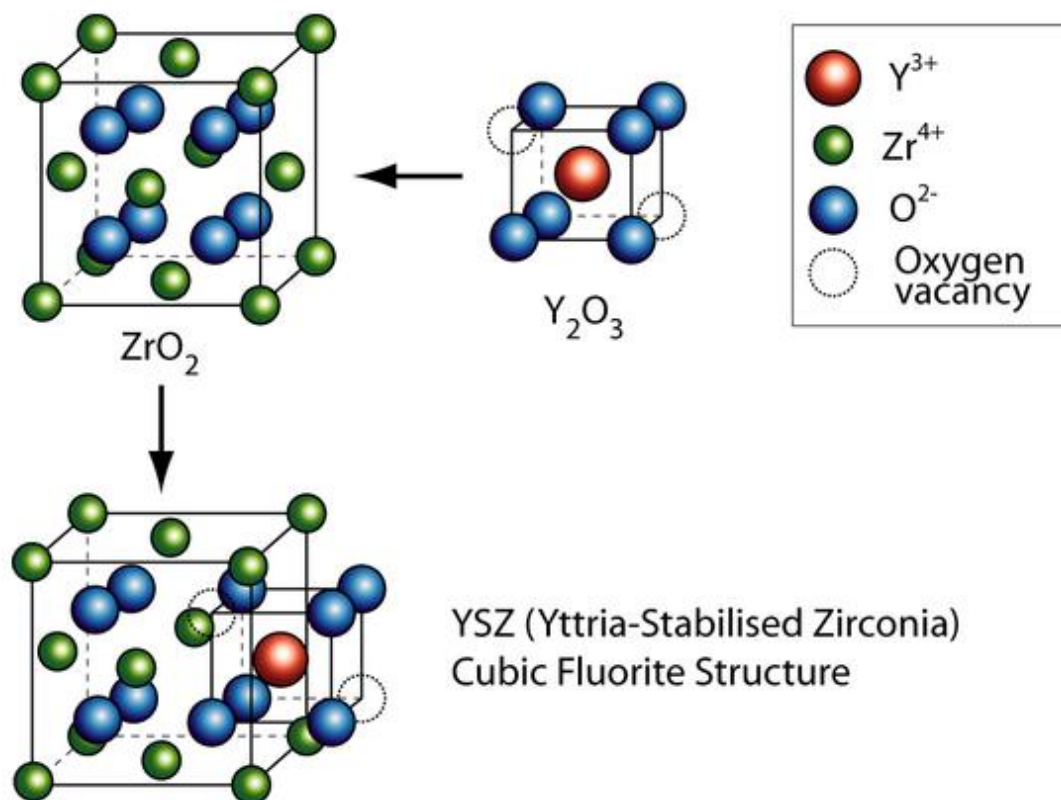


Рисунок 2 – Кристаллическая структура оксида циркония, стабилизированная оксидом иттрия [18]

Широкое применение оксида иттрия в качестве стабилизатора обусловлено высоким сродством кристаллических решёток оксидов, а также малым количеством вещества необходимым для эффективной стабилизации. Наиболее распространены составы с 3 мол.% Y_2O_3 при превышении 6 мол.% стабильной становится кубическая фаза [19].

1.3.2 Оптимизация технологии изготовления

Другой подход к стабилизации тетрагонального ZrO_2 основан на оптимизации технологии спекания и обработки поверхности готовой керамики.

Множество исследований доказало, что чем меньше средний размер зерна и выше относительная плотность керамики, тем лучше её сопротивление низкотемпературной гидротермальной деградации [20].

Для достижения данных характеристик используются различные методы спекания:

1. Двухступенчатое спекание (свободное):

Изготовить изделие сложной формы из Y-TZP можно проведя предварительное спекание спрессованной заготовки. Предварительное спекание проводится с целью придания прочности заготовке, необходимой для последующей фрезерной обработки. После фрезерования проводится окончательное спекание и изделие приобретает необходимую плотность и прочность.

Эксперименты с температурными режимами предварительного и окончательного спекания, показали эффективность данного метода с достижением достаточно мелкозернистой структуры (<100 нм) и плотностью близкой к теоретической [20, 21].

2. Горячее изостатическое прессование:

Следует за предварительным атмосферным спеканием, устраняющим поверхностную пористость, проводится под высоким давлением горячих инертных газов в основном аргона. Температура изотермической выдержки обычно

не превышает 1400 °С [20]. Позволяет получать устойчивую керамику, но имеет значительные технические сложности.

3. Микроволновое спекание:

Относительно новый метод, значительно улучшающий динамику уплотнения керамики при сравнительно низкой температуре спекания и короткой изотермической выдержке. Изготовленная данным способом керамика обладает (в сравнении со свободным атмосферным спеканием) лучшими значениями ударной вязкости и прочности на изгиб. Имеются экспериментальные результаты с керамикой практически неподверженной LTD [20].

4. Электроимпульсное спекание:

Так же известное как SPS (с англ., spark plasma sintering) представляет из себя технологию скоростной консолидации порошковых материалов. Суть метода заключается в пропускании через порошковое тело коротких (~ 3,3 мс) импульсов большого переменного/постоянного тока (до нескольких десятков кА) с одновременным приложением давления. Благодаря этому достигается высокая скорость нагрева (до 2500 °С/мин), сокращается время операции, а размер зёрен после спекания сопоставим с размерами исходных частиц [20]. Принцип работы ИПС установки показан на рисунке 2.

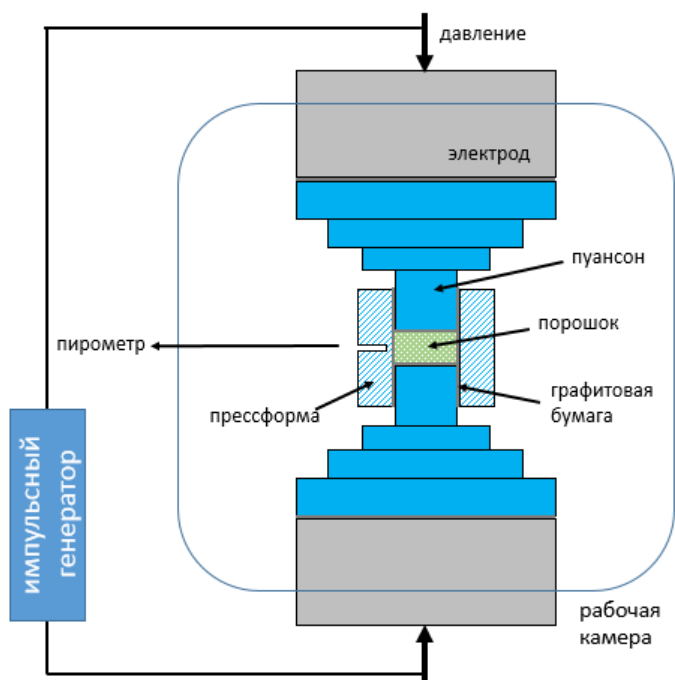


Рисунок 2 – Принципиальная схема работы установки SPS [22]

Так как начало деградации возникает в приповерхностном слое Y-TZP керамики, модификация поверхности является логичным подходом для предотвращения спонтанной трансформации [23, 20]. Существует множество различных техник:

- отпуск; проводится для снятия напряжений, возникших при спекании, обычно сосчитается с другими методами, негативно сказывается на стойкости к деградации [24];
- шлифование и полировка; обычно сосчитается с другими методами, снижает стойкость к деградации [23-25];
- струйная обработка; обычно проводится порошками легирующих оксидов (чаще всего Al_2O_3) или кубическим ZrO_2 , увеличивает стойкость к деградации, широко применяется за счёт простоты [20, 24];
- нанесение покрытий; делаются на основе ZrO_2 с большим количеством стабилизаторов, показывают хорошие сопротивление деградации, но часто имеют низкие физико-механические характеристики [26, 27];
- нитрование поверхности; значительно увеличивает стойкость керамики к деградации, без изменения её механических характеристик [28];
- и др.

В данной работе, будут использоваться классическая технология предварительного компактирования с одностадийным свободным атмосферным спеканием с и SPS.

1.4 Механизм гидротермальной низкотемпературной деградации

На сегодняшний день до сих пор не существует однозначного объяснения механизма деградации тетрагонального диоксида циркония.

Известно, что при свободном спекании порошка Y-TZP происходит диффузия иттрия к поверхностному слою зёрен, и при их росте мелкие окружающие их зёрна обедняются иттрием [28]. Наиболее распространенная теория

состоит в том, диффузия воды (H_2O) внутрь решетки увеличивает внутренние напряжения и инициирует фазовое превращение. Таким образом, происходит цепочка событий, при которой трансформация сначала распространяется внутри одного зерна и постепенно выходит на его поверхность по механизму зарождения и роста. Количество зародышей непрерывно увеличивается с напряжением из-за проникновения воды (что имеет временную зависимость). В то же время происходит рост за счет трансформации одних зёрен, подвергающихся соседним растягивающим напряжениям, что благоприятствует их трансформации под действием воды [10].

2 СТАНДАРТЫ LTD ИСПЫТАНИЙ

В виду того, керамика на основе Y-TZP получила широкое распространение, появилась необходимость в создании стандартов на её устойчивость к низкотемпературной гидротермальной деградации.

На сегодняшний момент двумя основными стандартами являются европейский ISO 13356:2015 (новая версия находится в разработке) [29] и японский JIS A 5207:2019 [30]. Суть методики испытаний по ускоренной низкотемпературной гидротермальной деградации Y-TZP по данным стандартам заключается в следующем:

Небольшие образцы спечённой керамики помещаются в камеру автоклава и заливаются водой. Давление и температуру в камере поднимают до заданных значений и выдерживают несколько часов (таб. 2). После испытаний проводится анализ содержания моноклинной фазы в образцах. Её процентное содержание определяет стойкость керамики к LTD [29, 30].

Таблица 2 – Параметры LTD испытаний [29, 30]

Стандарт	Температура, °C	Давление, МПа	Продолжительность, ч	Допустимое содержание моноклинной фазы, %
ISO 13356:2015	134	0,2	5	≤ 25
JIS A 5207:2019	180	1	5 / 20	≤ 10 / ≤ 50

Считается, что 1 ч ускоренного гидротермального старения по ISO 13356:2015 соответствует 3-4 годам эксплуатации керамики в организме человека. Однако исследования направленные на сравнение динамики деградации *in vitro* и *in vivo* показали значительное отличие. Увеличение содержания моноклинной фазы образцов, испытанных в ротовой полости человека, происходило в 40 раз быстрее чем в автоклаве [10, 11]. В результате этого применение методики оценки стойкости Y-TZP на основе описанных стандартов может быть сопряжено с определёнными рисками.

2.1 Определение содержания моноклинной фазы и метод Ритвельда

Для оценки стойкости стабилизированного диоксида циркония в основном применяется рентгенофазовый анализ сокращаемый РФА [10, 20]. Все твёрдые вещества можно разделить на аморфные - с неупорядоченной структурой и кристаллические – с упорядоченной структурой. Порядок, с которым чередуются атомы в кристалле, называют кристаллической решёткой. Области материала с различной кристаллической решёткой, которые отделяются друг от друга поверхностью раздела, и обладают разными свойствами, называться фазами.

В основе РФА лежит явление рентгеновской дифракции – рассеяние рентгеновских лучей кристаллами (или молекулами жидкостей и газов) в результате взаимодействия рентгеновских лучей с электронами вещества, при котором из начального пучка лучей возникают вторичные отклоненные пучки той же длины волны [31]. При этом интенсивные пики рассеивания (дифракционные максимумы) наблюдаются при соблюдении условия Вульфа-Брэгга (рис. 3):

$$2d \cdot \sin 2\theta = n\lambda, \quad (1)$$

где d – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м;
 θ – угол, под которым наблюдается дифракция, град.; n – порядок дифракции;
 λ – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл, м.

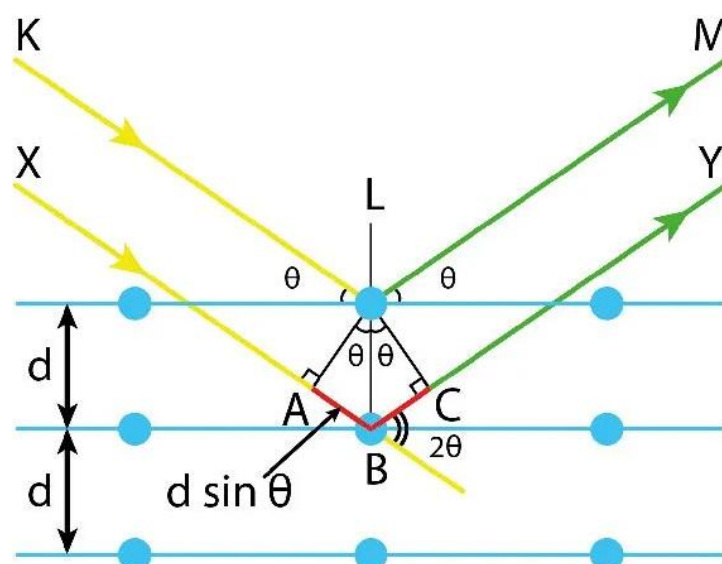


Рисунок 3 – Схема падения и отражения рентгеновских лучей, где KL и XB – падающие лучи, LM и BY – дифрагированные лучи

На основе данных регистрации отражённого рентгеновского излучения строится график зависимости интенсивности от угла дифракции (рис. 4). Главная цель РФА заключается в идентификации вещества по набору его межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме. Для их учёта используются различные методики, среди которых хорошо себя зарекомендовал метод Ритвельда.

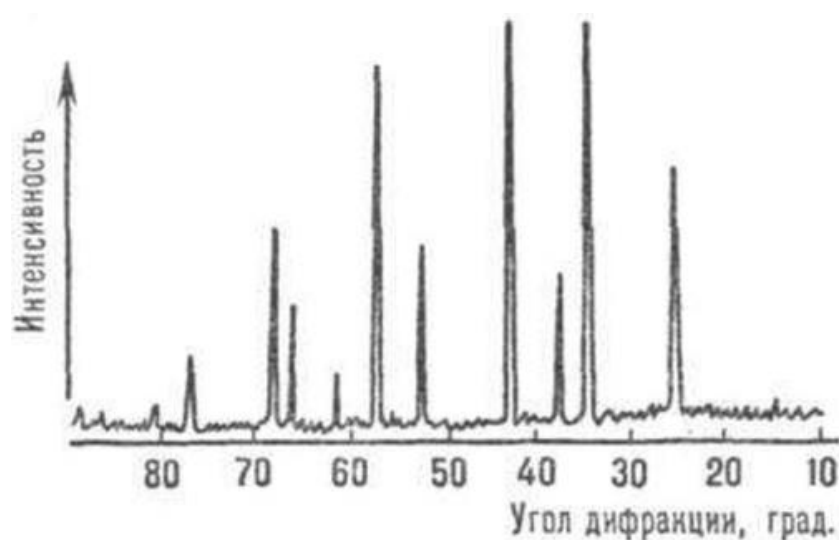


Рисунок 4 – Вид рентгенограммы вещества

Принцип метода заключается в описании профиля линии рентгенограммы с помощью аналитических функций интенсивности в каждой отдельной

точке. При этом уточнение параметров функций, включающих структурные, приборные и другие характеристики, производится с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [32].

Базовое уравнение для уточнения структуры методом Ритвельда является суммой параметров и факторов, влияющих на расчётную интенсивность в определённой точке рентгенограммы, и имеет следующий вид [32]:

$$y_{ci} = s \sum_{hkl} LP(2\theta_{hkl}) M_{hkl} |F_{hkl}|^2 F_{prof}(2\theta_i - 2\theta_{hkl}) P_{hkl} A + y_{bi}, \quad (2)$$

где s – фактор шкалы; $LP(2\theta_{hkl})$ – фактор Лоренца и поляризации рефлекса hkl ; M_{hkl} – фактор повторяемости плоскости hkl ; F_{prof} – профильная функция рефлекса hkl в точке i ; $|F_{hkl}|^2$ – структурный фактор рефлекса hkl ; P_{hkl} – текстурный параметр плоскости hkl ; A – фактор поглощения; y_{bi} – интенсивность фона в точке i [32].

Для оптимальной сходимости разность экспериментальной и вычисленной интенсивности минимизируем нелинейным МНК [32].

Суть МНК заключается в задаче нахождения таких значений коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных a и b :

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2, \quad (3)$$

принимает наименьшее значение. То есть, при данных a и b сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от найденной прямой будет наименьшей. И задачу можно свести к нахождению экстремума функции двух переменных. В случае нелинейного НМК кривая разделяется а отдельные линейные участки, которые аппроксимируются последовательно.

Последовательность уточнения методом Ритвельда разделяется на несколько пунктов [32]:

- правильный выбор модели и стартовых значений для всех уточняемых параметров;
- правильная последовательность уточнения;

- использование графического контроля, корреляционной матрицы для оценки успешности уточнения.

Уточнение считается законченным, когда изменения уточняемых параметров от цикла к циклу становятся незначительными [32].

3 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Материал

В качестве исходного материала образцов использовался нанопорошок ZrO_2 с 3 мол.% Y_2O_3 марки TZ-3YS (Tosoh Co., Япония), заявленная производителем удельная поверхность частиц: 7 ± 2 м²/г. Характеризацию состава порошка проводили методом РФА на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu, Япония), с помощью метода лазерной дифракции анализировались гранулометрические характеристики порошка, удельная поверхность уточнялась по методу БЭТ.

3.2 Технология изготовления и подготовки образцов

Компактирование проводили по схеме одноосного одностороннего прессования в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 14 мм при давлении 75 МПа. Масса навески составляла 2 г. Спекание проводили в высокотемпературной лабораторной печи LHT 08/18 (Nabertherm) при температурах 1400 и 1500 °С, с выдержкой 0, 2 и 6 ч, скорость нагрева 200 °С/ч., при достижении 1100 °С уменьшалась до 100 С/ч, охлаждение проводилось на воздухе.

Изготовление образцов методом SPS проводили в вакууме на установке SPS 515S (SPS Syntex) в цилиндрической графитовой пресс-форме с внутренним диаметром 14 мм. Давление прессования 75 МПа, температура спекания 1350 °С, изотермическая выдержка 10 мин. Скорость нагрева и охлаждения составляла 100 °С/мин. При нагреве, за 50 °С до заданной температуры спекания скорость нагрева снижали до 50 °С/мин, а за 3 °С до 3°С/мин.

После спекания поверхность образцов полировали и подвергали термическому травлению при 1100 °С в течении 1 ч.

3.2 LTD испытания

Ускоренные испытания на стойкость керамики к LTD проводили согласно стандарту ISO 13356:2015 в автоклаве в водной среде, при температуре 134 °C и давлении 0,2 МПа, продолжительностью 10 часов.

3.3 Исследования образцов

Плотность прессовок и предварительно спеченных образцов определяли на основании измерений микрометром и аналитическими весами. За теоретическое значение плотности Y-TZP принимали 6,1 г/см³. При расчете относительной плотности прессовок была проведена коррекция массы на величину содержания в порошке органической связки (3 %). Для расчета плотности образцов после спекания использовали результаты гидростатического взвешивания в дистиллированной воде.

РФА проводили на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu, Япония) на отполированной поверхности в диапазоне углов (от 15° до 70° по 2 θ) с использованием метода Ритвельда в свободно распространяемом программном обеспечении “PowderCell”. При уточнении использовали соответствующие PDF файлы тетрагональной (PDF Card — 01-075-9648) и моноклинной фаз (PDF Card — 00-065-0687).

Без изменения типа решётки при преобразовании базисного вектора из пространственной группы (137) в координаты пространственной группы (225), численные значения двух параметров решетки изменятся в корень из двух раз и составят набор величин, которые позволяют корректно представить степень тетрагональности простым отношением c/a . Таким образом, степень тетрагональности c/a , наряду со сведениями о содержании фаз, может использоваться для сопоставления и поиска закономерных связей между режимами спекания, размерами структурных элементов керамики и параметрами её кристаллической структуры с результатами LTD.

Оценка содержания моноклинной фазы в образцах после ускоренной низкотемпературной деградации определялась в узком диапазоне углов (от 26° до 33° по 2 θ), аналогично [33] по формуле (4):

$$f_m = \frac{I_m(11\bar{1}) + I_m(111)}{I_m(11\bar{1}) + I_m(111) + I_t(101) + I_c(111)}, \quad (4)$$

где I – интегральная интенсивность, а индексы m , t и c означают моноклинную, тетрагональную и кубическую фазы, соответственно.

Микроструктуру образцов изучали с помощью просвечивающей и сканирующей просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ и СПЭМ, соответственно) на установке JSM-2100F (JEOL, Япония) после пробоподготовки, которую осуществляли методом ионного травления на установке Ion Slicer (JEOL, Япония). Анализ изображений производили в свободно распространяемом программном обеспечении “fiji”. Средний условный размер зерна $D_{\text{ср}}$ определяли методом подсчета пересечений зерен по ГОСТ 21073.3-75. Средний эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$ зерна рассчитывали на основе измеренной площади зёрен S по формуле (5), для каждого образца проводилось не менее 500 измерений. Значения измерений представлены в приложении Б.

$$d_{\text{экв}} = 2\sqrt{S/\pi}. \quad (5)$$

Определение моды распределения среднего диаметра зёрен производилось по формуле (6):

$$Mo = X_{Mo} + h_{Mo}(f_{Mo} - f_{Mo-1})/((f_{Mo} - f_{Mo-1}) + (f_{Mo} - f_{Mo+1})), \quad (6)$$

где X_{Mo} – левая граница модального интервала, h_{Mo} – длина модального интервала, f_{Mo-1} – частота премодального интервала, f_{Mo} – частота модального интервала, f_{Mo+1} – частота послемодального интервала [35].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1 Характеризация исходного порошка

Анализ СЭМ-изображений порошка Y-TZP (рисунок 5) показал, что он состоит из первичных частиц (кристаллитов) размером 100 ± 30 нм, а их форма близка к равноосной. В исследуемом порошке Y-TZP содержится 5,15 масс. % Y_2O_3 , менее 3 масс. % HfO_2 и менее 0,1 масс. % Al_2O_3 .

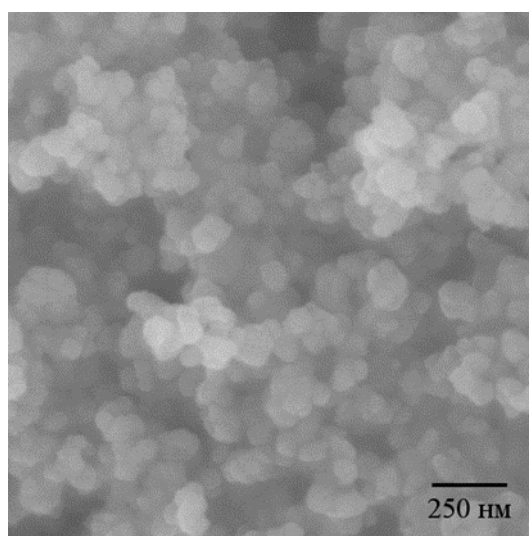


Рисунок 5 – СЭМ-изображение порошка Y-TZP

Исследование фазового состава методами РФА установило, что порошок состоит из тетрагональной (65,8 об. %) и моноклинной (34,2 об. %) модификаций ZrO_2 с размерами ОКР 50 нм и 26 нм, соответственно.

На основе данных лазерной дифракции были построены гистограммы количественного и объёмного распределения структурных элементов порошка Y-TZP (рис. 6). В таблице 3 приведены гранулометрические характеристики порошка.

Таблица 3 – Характеристики гранулометрического состава порошка Y-TZP

D10, мкм		D50, мкм		D90, мкм		Ср. размер, мкм	
колл.	об.	колл.	об.	колл.	об.	колл.	об.
0,152	0,197	0,203	0,530	0,306	1,291	0,203	0,53

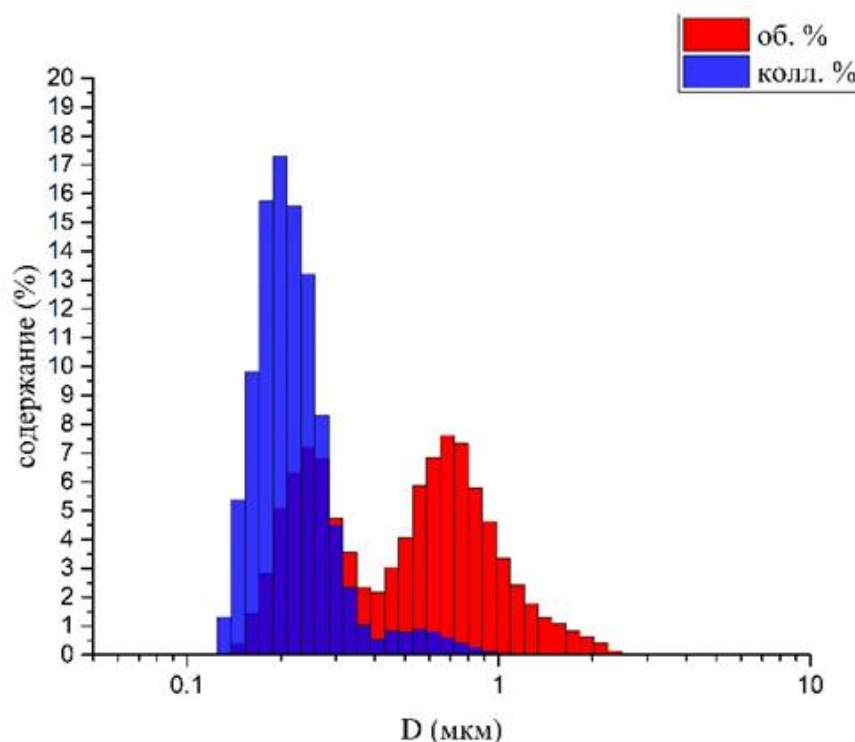


Рисунок 6 – Распределение структурных элементов порошка Y-TZP по размерам

Удельная поверхность исследуемого порошка, рассчитанная по методу БЭТ, составила 7 ± 2 м²/г, что в сферическом приближении соответствует диаметру частиц, равному 140 ± 40 нм.

В результате характеристики исходного материала было установлено, что в порошке содержится 34,2 % моноклинной и 65,8 % тетрагональной фаз, средний размер частиц на основе гранулометрических данных и приближения из расчёта удельной поверхности находится в диапазоне от 100 до 530 нм. Значение удельной поверхности соответствует указанному производителем.

4.2 Изготовление образцов

Условия прессования и свободного спекания были выбраны на основе рекомендаций производителя. Плотность прессовок после одноосного одностороннего прессования при 75 МПа равна $2,6 \pm 0,2$ г/см² (42,7 %). Результаты спекания представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сводного спекания и SPS исследуемых образцов

№	Температура спекания, °C	Выдержка, ч	Плотность ρ , г/см ³	Относительная плотность ρ , %
1	1400	0	3,88	63,6%
2	1400	2	4,86	79,7%
3	1400	6	5,34	87,6%
4	1500	0	5,58	91,4%
5	1500	2	5,96	97,8%
6	1500	6	6,09	99,8%
7	SPS 1350	0,17	6,09	99,8%

Относительна плотность образца после 6 ч. свободного спекания при 1400 °C составляет 87,6 %. Тогда как, плотность образца, спекаемого при 1500 °C, составляет 91,4% уже в начале изотермической выдержки. Использование SPS позволяет получить керамику с плотностью близкой к теоретической при гораздо более низкой температуре и малым временем изотермической выдержки.

4.3 Анализ РФА

В таблице 5 представлены результаты уточнения структуры исследуемых образцов методом Ритвельда. Обнаружено, что наилучшие результаты получаются при использовании двух типов тетрагональных фаз. Мы их разделили по критерию степени тетрагональности. t_1 -фаза – фаза со степенью тетрагональности (c/a) более 1,014 и t_2 -фаза – фаза с c/a менее 1,014.

Таблица 5 – Результаты определения структурных параметров образцов методом Ритвельда и оценка содержания моноклинной фазы после LTD испытаний

Метод спекания		t_1 -фаза				t_2 -фаза				R_{wp}	m -фаза
$T_{сп}, ^\circ C$	$t_{сп}, ч$	$C, \%$	$a, нм$	$c, нм$	c/a	$C, \%$	$a, нм$	$c, нм$	c/a		$C, \%$
1400	0	76	3,6066	5,1717	1,0140	24,27	3,6192	5,1783	1,012	11,22	6,3%
	2	68	3,6045	5,1736	1,0149	32,01	3,6173	5,1697	1,011	11,69	6,2%
	6	66	3,6048	5,1777	1,0156	33,84	3,6186	5,1637	1,009	12,7	44,8%
1500	0	86	3,6064	5,1781	1,0153	13,54	3,6253	5,1668	1,008	11,64	11,4%
	2	73	3,6055	5,1786	1,0162	27,39	3,6246	5,1627	1,007	15,25	55,5%
	6	63	3,6045	5,1803	1,0156	36,88	3,6208	5,1615	1,008	13,4	65,3%
SPS		100	3,6087	5,1753	1,0141	0	-	-	-	-	0 %

На основе данных таблицы 5 можно заключить, что при увеличении содержания t_2 -фазы близкой по своей форме к кубической, происходит обеднение иттрием t_1 -фазы. В результате чего возрастает её способность к Т→М трансформации, что негативно сказывается на стойкость керамики к деградации.

При анализе результатов гидротермального старения обнаружено отсутствие t_1 -фазы в образцах спечённых при 1500 °С в течении 2 и 6 ч. Этот факт свидетельствует о склонности к деградации t_1 -фазы.

Рассмотрим подробнее зависимость содержания в исследуемых образцах моноклинной фазы после ускоренного гидротермального старения (рисунок 7).

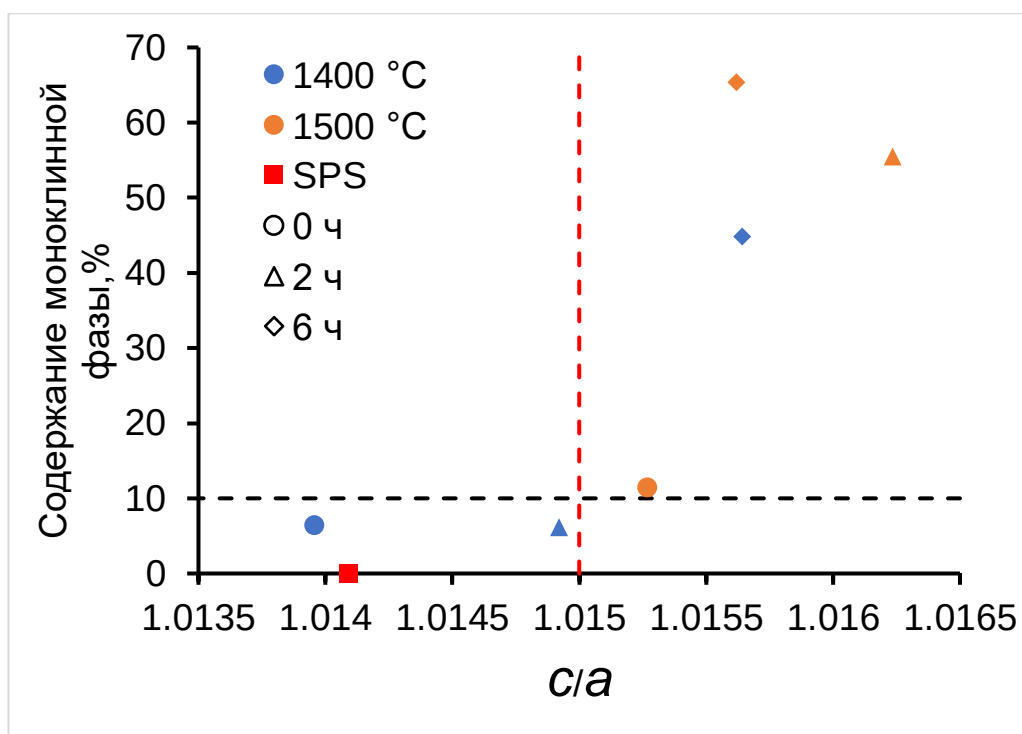


Рисунок 7 – Зависимость содержания моноклинной фазы от степени тетрагональности c/a t_1 -фазы, чёрной пунктирной линией показан предел допустимой концентрации моноклинной фазы, красной – критическое значение c/a стабильной тетрагональной фазы

Проанализировав рисунок 7, можно сделать следующие выводы: образцы со степенью тетрагональности выше значения 1,015 гораздо хуже сопротивляются низкотемпературной гидротермальной деградации; с увеличением температуры спекания и времени изотермической выдержки растёт и показатель c/a .

На основе анализа данных РФА можно заключить, что увеличение температуры и времени изотермической выдержки свободного спекания увеличивает содержание t_2 -фазы и степень тетрагональности t_1 -фазы, что снижает устойчивость керамики к *LTD*. Применение технологии *SPS* для изготовления Y-TZP керамики значительно повышает её стойкость к низкотемпературной гидротермальной деградации.

4.4 Анализ СЭМ

Для проведения электронной микроскопии поверхность всех образцов подвергали полировке и последующему термическому травлению при 1100°C в течении 1 ч. На основе полученных снимков (рис. 8), был проведён анализ по двум параметрам, распределение среднего диаметра зерна (рис. 9) и относительная занимаемая площадь зёрен (рис. 10).

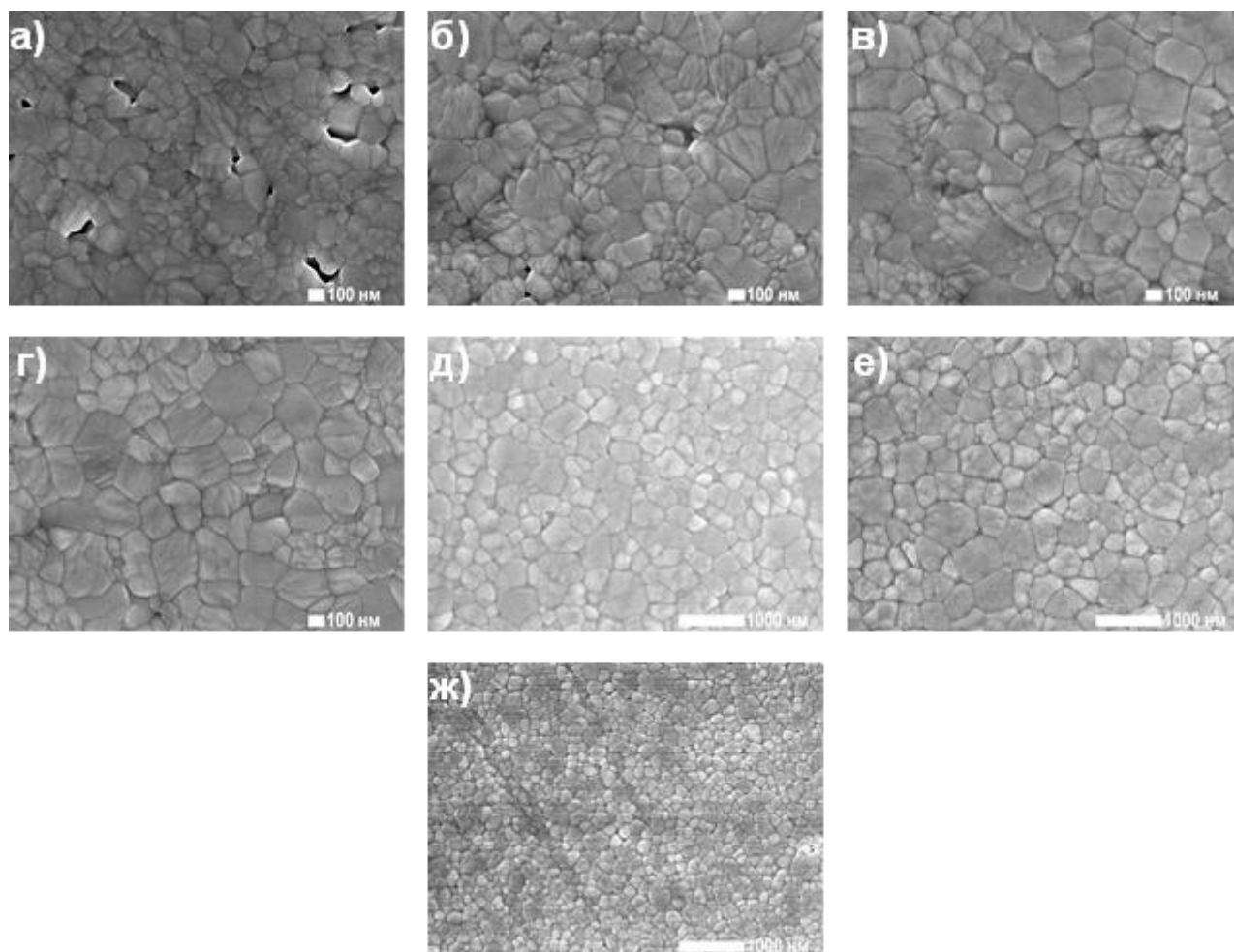


Рисунок 8 – СЭМ изображения поверхности спечённых образцов: 1400 °C

а) 0 ч, б) 2 ч, в) 6 ч; 1500 г) 0 ч, д) 2 ч, е) 6 ч; ж) SPS

Как видно из рис. 8 с увеличением времени и температуры спекания число крупных зёрен возрастает, что соответствует результатам других исследований [20] и подтверждается на гистограммах:

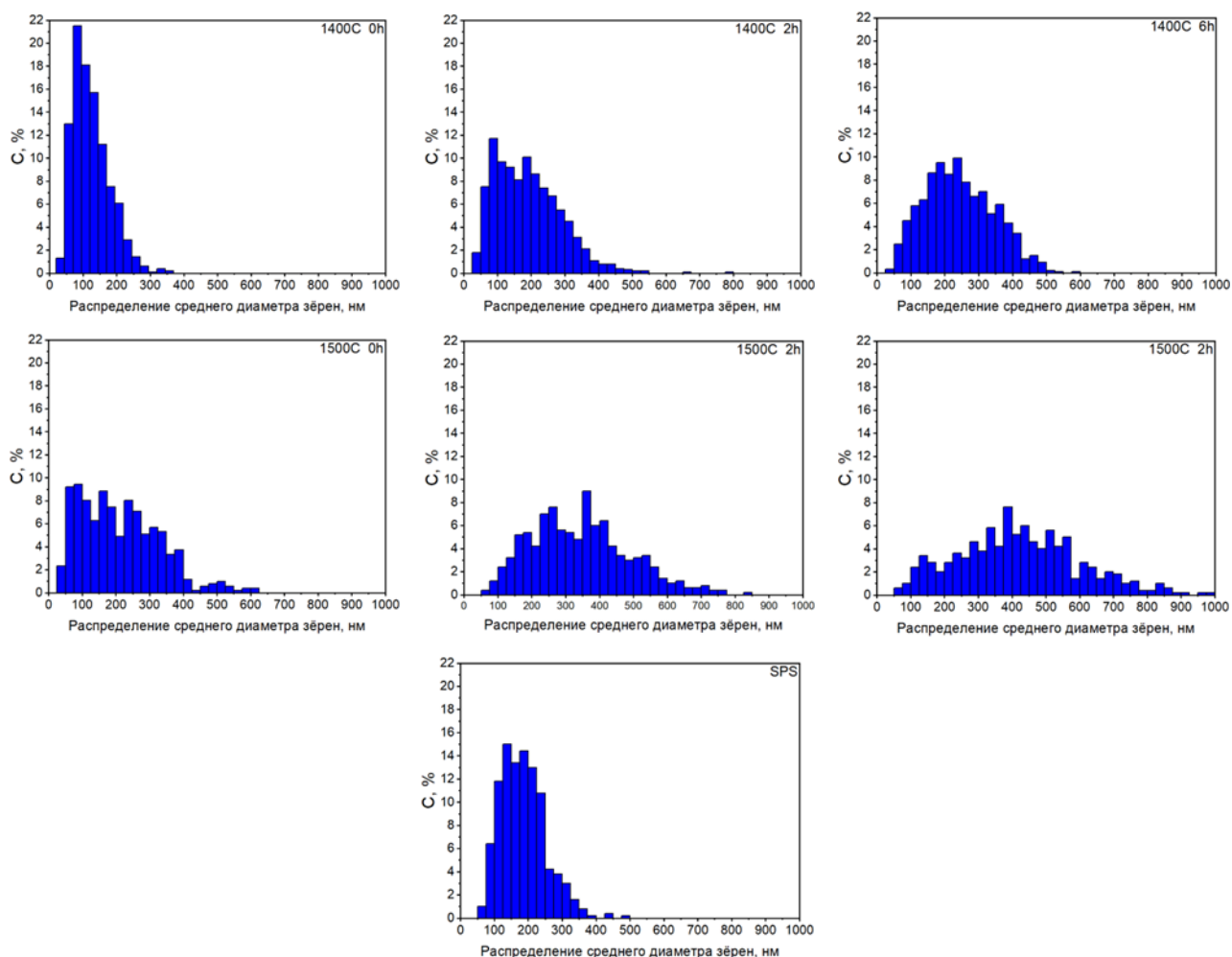


Рисунок 9 – Гистограммы распределения среднего диаметра зёрен спечённых образцов

Как следует из полученных гистограмм (рис. 9) образец, спечённый при 1400 °С с нулевой изотермической выдержкой, обладает самой высокой монодисперсностью, зёрна размерами от 50 до 175 нм составляют 79,3 % от общего числа. С увеличением температуры и времени изотермической выдержки мода распределения среднего диаметра зерна смещается вправо, при этом у образцов спечённых при 1500 °С с выдержкой 2 и 6 ч заметно значительное увеличение содержания зёрен с $d_{cp} > 500$ нм. Образец, изготовленный методом SPS, также обладает высокой монодисперсностью, но в сравнении с образцом 1400 °С 0 ч имеет смещенную вправо моду распределения.

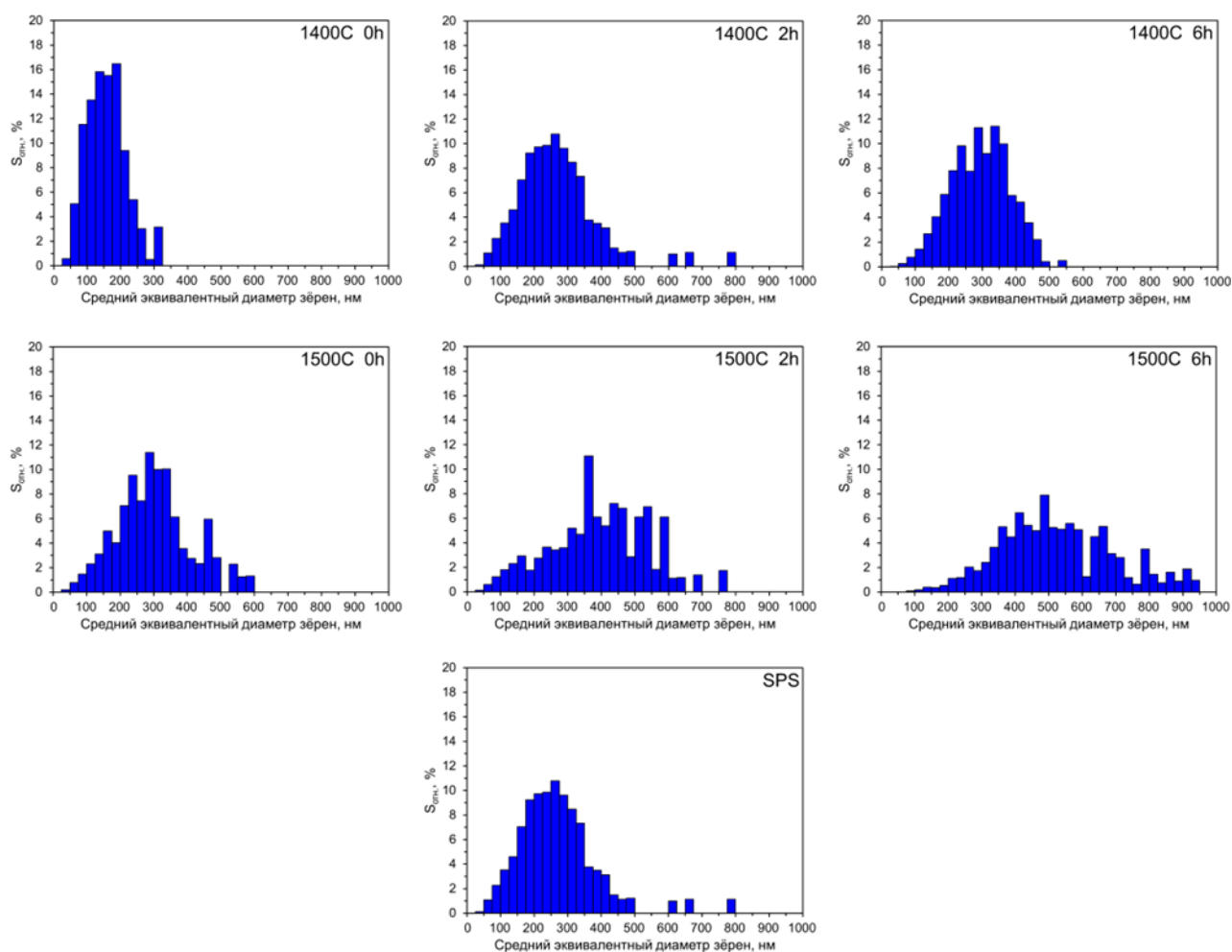


Рисунок 10 – Гистограммы относительной занимаемой площади зёрен

В сравнении с гистограммами распределения среднего диаметра зёрен (рис. 9) моды графиков на рис. 10 смещены вправо в среднем на 100 нм. Однако общая картина имеет только незначительные изменения.

В таблице 3 показаны параметры d_{10} , d_{50} , d_{90} , $D_{ср}$ и Mo для каждого образца рассчитанные на основе $d_{ср}$ и $d_{экв}$.

Таблица 6 – Параметры плотности и распределения зёрен образцов

Параметр		1400 0ч	1400 2ч	1400 6ч	1500 0ч	1500 2ч	1500 6ч	SPS
$\rho_{от}, \%$		63,6	79,7	87,6	91,4	97,8	99,8	99,8
$d_{10}, \text{нм}$	$d_{ср}$	92	106	153	114	216	275	122
	$d_{ЭКВ}$	85	138	177	160	186	323	130
$d_{50}, \text{нм}$	$d_{ср}$	166	230	283	268	390	488	201
	$d_{ЭКВ}$	153	255	295	296	389	510	205
$d_{90}, \text{нм}$	$d_{ср}$	254	367	410	419	598	732	303
	$d_{ЭКВ}$	232	390	409	463	583	791	299
$D_{ср}, \text{нм}$	$d_{ср}$	124	191	244	212	344	421	185
	$d_{ЭКВ}$	114	175	224	194	215	388	172
$Mo, \text{нм}$	$d_{ср}$	93	92	235	78	365	390	142
	$d_{ЭКВ}$	178	261	340	293	364	488	196

Особое внимание заслуживают образцы 1400 °С 6 ч и 1500 °С 0 ч, при относительно близких значениях плотности образец, спечённый с длительной изотермической выдержкой, имеет больший размер зерна (таблица 6). Следовательно непродолжительное спекание при 1500 °С может позволить получить образец с меньшим размером зерна, чем продолжительное при 1400 °С.

4.5 Сравнение результатов РФА и СЭМ

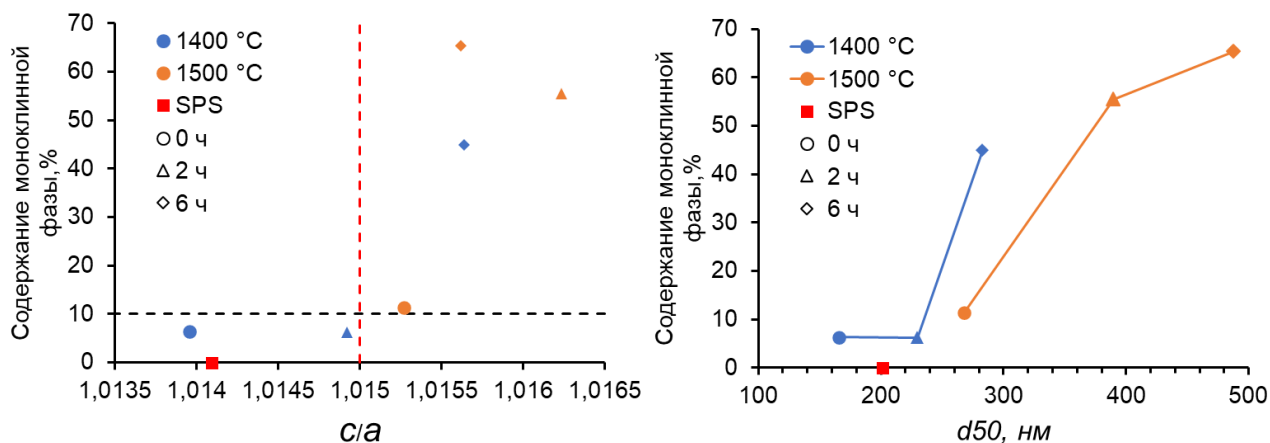


Рисунок 14 – Сравнение зависимости содержания моноклинной фазы от степени тетрагональности c/a t_1 -фазы и параметра d_{50}

При сравнении влияния параметров c/a и d_{50} (рис.14) видно, что образец спечённый при 1400 °С в течении 6 ч и образец спечённый при 1500 °С без изотермической выдержки обладают близким размером зерна, но их поведение при LTD значительно отличается, что можно объяснить на основе значений c/a .

ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы были решены все поставленные задачи:

1. Проведена характеристика исходного порошка Y-TZP. Определены содержание моноклинной (34,2 %) и тетрагональной (65,8 %) фаз, средний размер частиц (100 ± 30 нм) и значение удельной поверхности (7 ± 2 м²/г), соответствующее заявленному производителем.

2. Изготовлены образцы керамики методами свободного атмосферного спекания и SPS. Определено, что увеличение температуры и времени изотермической выдержки позволяет получать более плотную керамику. Метод SPS позволяет получить керамику с плотностью близкой к теоретической при гораздо более низкой температуре и малым временем изотермической выдержки.

3. Проведён анализ микроструктуры спечённых образцов Y-TZP керамики. Определено, что с увеличением температуры и времени изотермической выдержки так же увеличивается размер зёрен. При этом, применение режима спекания с высокой температурой спекания и короткой изотермической выдержкой позволяет получать керамику с относительно узким распределением зёрен по размеру и большей плотностью по сравнению с режимами с низкой температурой и длительной выдержкой. Размер зёрен при спекании методом SPS оказался несколько больше, чем у образца, свободно спеченного при 1400 °C без выдержки.

4. Проведены испытания по ускоренной низкотемпературной гидротермальной деградации керамики.

5. Проведён РФА образцов. Заключение, что увеличение температуры и времени изотермической выдержки свободного спекания увеличивает содержание t2-фазы и степень тетрагональности t1-фазы, что снижает устойчивость керамики к LTD. Применение технологии SPS для изготовления Y-TZP керамики значительно повышает её стойкость к низкотемпературной гидротермальной деградации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ02	Мусаеву Алексею Николаевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности определения отношений между пользователями социальной сети Twitter на основе анализа текста сообщений.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гасанов Маггеррам Али оглы			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Мусаев Алексей Николаевич		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Конечный результат исследования представляет собой методику оценки стойкости Y-TZP керамики к низкотемпературной деградации на основе структурного параметра степени тетрагональности.

Данная методика может предлагаться, как услуга испытательных и лабораторных центров. Целевыми рынками, заинтересованными в данной разработке, являются предприятия авиакосмической отрасли, химической, нефтехимическая и фармацевтической промышленности, медицины, производители тепло- и гидротехники. В виду того, что на большинстве крупных предприятий оценка характеристик керамики производится в отделах контроля качества, следует так же рассмотреть предоставление права использования методики, как ограниченной по времени аренды интеллектуальной собственности (без возможности её передачи, публикации и продажи).

Сегментировать рынок услуги можно по виду проводимых исследований необходимых для оценки характеристик керамики и размеру предприятий.

Для классического метода полноценного анализа устойчивости Y-TZP керамики к низкотемпературной деградации необходимо следующие исследования специальных подготовленных образцов

- определение плотности;
- LTD испытания;
- РФА;
- прочностные испытания;
- анализ поверхности (в зависимости от размеров зёрен сырья могут быть применены различные методы микроскопии: оптическая или электронная).

Таблица 7 – Карта сегментирования рынка услуг по анализу керамики

		Вид исследований			
		РФА	LTD испытание	Прочностные испытания	Исследования поверхности
<i>Размер предприятия</i>	Мелкие				
	Средние				
	Крупные				

отделы контроля предприятия

исп. / лаб. центры

Как видно из таблицы 7 большую часть исследований проводят независимые испытательные лабораторные центры.

5.1.2 Анализ конкурентных решений

Разработанная методика по определению стойкости Y-TZP керамики к низкотемпературной деградации на основе степени тетрагональности является уникальной. Существующий стандарт ISO 13356:2015 подразумевает изготовление и испытание образцов в специализированном контейнере для ускоренной деградации и последующее их изучение методом РФА [29]. При этом оценка стойкости керамики в данном случае не может быть напрямую связана с изначальными структурными характеристиками образца.

В виду того, что остальные существующие стандарты, посвящённые данному вопросу, ссылаются на описанный ранее он будет рассмотрен как единственное конкурентное решение.

Экспертная оценка основных технических характеристик данного стандарта представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
			Б _ф	Б _{кл}	К _ф	К ₁
	1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности						
1	Простота	0,15	5	3	0,75	0,45
2	Точность	0,15	5	2	0,75	0,3
3	Устойчивость к внешним факторам	0,1	5	2	0,5	0,2
4	Функциональность	0,2	5	3	1	0,6
5	Продолжительность	0,09	5	1	0,45	0,09
6	Ресурсоёмкость	0,1	4	2	0,4	0,16
Экономические критерии оценки эффективности						
1	Конкурентоспособность продукта	0,01	5	3	0,05	0,03
2	Уровень проникновения на рынок	0,04	1	5	0,04	0,2
3	Стоимость	0,1	5	2	0,5	0,2
5	Финансирование научной разработки	0,04	2	5	0,08	0,2
6	Срок выхода на рынок	0,01	2	5	0,08	0,2
Итого		1	44	23	4,6	2,63

Уязвимости позиций конкурентного решения связаны с общей продолжительностью исследований в виду того, что:

1. Необходимо изготовить образцы, что занимает от 10 до 40 ч.;
2. Проводится ускоренные испытания по низкотемпературной деградации (от 10 ч);
3. Проводится РФА.

Так же в стандарте ISO 13356:2015 не определена точная спецификация материала и геометрии камеры для ускоренной гидротермальной деградации, исследования показали, что данные факторы имеют влияние на конечное содержание моноклинной фазы. При этом не учитывается вклад состава среды, что важно для медицинской керамики. Продолжительные исследования Y-TZP керамики в организме человека показали значительное отклонение динамики фазового тетрагонально-моноклинного превращения от результатов укоренных испытаний, что говорит о несоответствии предсказанной стандартом модели поведения.

Преимущества предложенной методики заключаются в следующем:

1. Требуется только РФА;

2. При предварительной настройке оборудования возможно использование портативных комплексов, и тем самым проведение анализа на уже готовой продукции;

3. Степень тетрагональности керамики зависит только от технологических параметров исходного сырья и технологии спекания;

4. Методика позволяет определить реальный структурный параметр, определяющий стойкость керамики с высокой точностью, что значительно упрощает задачу оптимизации процессов спекания.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT (от англ. Strengths, Weaknesses, Opportunities и Threats) – представляет собой комплексный анализ, позволяющий провести оценку внешней и внутренней среды проекта.

Слабые и сильные стороны проекта отражают его внутренние особенности в то время, как пункты «Возможности» и «Угрозы» показывают возможное воздействие внешней среды. На их основе строится матрица, представленная в таблице 9.

Таблица 9 – SWOT-анализ

		Сильные стороны		Слабые стороны	
		C1	Простота	Сл1	Отсутствие патента
		C2	Одноэтапность		
		C3	Высокая точность	Сл2	Определена зависимость только для составов с иттрием
		C4	Зависимость только от параметров исходного сырья и технологии спекания		
		C5	Скорость		
Возможности		B1 C1 C2 Возможность отказа от необходимости изготовления контрольных образцов и осуществление неразрушающего контроля готовых изделий		B1 Сл2 Необходимость перепрограммирования ПО переносных комплексов РФА	
B1	Применение переносных комплексов РФА				
B2	Изучение влияния других стабилизаторов	B2 C4 Определение оптимального состава керамики		B2 B3 Сл2 Большое количество возможных легирующих элементов и их комбинаций, требующие длительного изучения	
B3	Получение	B3 B4 C1-4 Реализация			

	финансирования	методики как международного стандарта и её дальнейшее усовершенствование	и дорогостоящего сырья
B4	Получение международных патентов		B4 Сл1 Опасность перехвата разработки
Угрозы			
У1	Потеря актуальности	У1 С1-С5 На данный момент методика оценки стойкости Y-TZP керамики уникальна и не замечены другие схожие работы	У1 Сл1 Сл2 Ввиду того, что новая редакция ISO 13356:2015 находится в разработке с 2020 г. при решении всех недостатков прошлой редакции её выход может сделать неактуальной разработанную методику
У2	Отсутствие спроса	У2 С3 С4 С каждым годом рынок технической и медицинской керамики увеличивается, как и потребность в точной методике контроля и оптимизации технологии производства продукции	У2 Сл2 Исследование может не заинтересовать потребителей в виду относительно узкой направленности. Сложное экономическое положение может произойти отказ от сложной в изготовлении ZrO ₂ керамики

Второй этап анализа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Что помогает выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	0	0	-
	B2	-	-	0	+	-
	B3	+	+	+	+	0
	B4	+	+	+	+	0

Возможности проекта	Слабые стороны проекта		
		СЛ1	СЛ2
	B1	-	+
	B2	-	+
	B3	-	+
	B4	+	-

Угрозы проекта	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	+	+
	У2	0	0	+	+	-

Угрозы проекта	Слабые стороны проекта		
		СЛ1	СЛ2
	У1	+	+
	У2	-	+

Из SWOT-анализа можно заключить, что при привлечении финансирования проекта и его патентировании значительно возрастают его шансы на успех. Основной же угрозой является новая редакция ISO 13356:2015, однако учитывая современную геополитическую ситуацию его скорая реализация маловероятна.

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 9.

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5

4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	43	48

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуются дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Коммерческая реализация проекта возможна двумя путями:

1. Торговля патентными лицензиями.

Данный метод коммерциализации рассматривается как основной, но ввиду малой проработанности проекта и недостаточных знаний разработчиков в данной области требуется привлечение соответствующих специалистов.

2. Инжиниринг.

Используя технические возможности Наносцентра ТПУ возможно предоставление услуг анализа степени тетрагональности Y-TZP. При условии сотрудничества с компаниями производителями портативных комплексов РФА возможна совместная работа по внедрению разработанной методики в аппаратные возможности комплексов.

5.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

5.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 12:

Таблица 12 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Заказчик	Получение чёткого результата анализа
Исполнитель	Получение прибыли за оказание услуги
Разработчики	Получение прибыли с лицензии
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в таблице 13:

Таблица 13 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать методику оценки стойкости Y-TZP керамики к LTD на основе параметра степени тетрагональности Произвести патентирование разработки
Ожидаемые результаты проекта:	Успешная продажа лицензии на использование методики
Критерии приемки результата проекта:	Успешное тестирование методики
Требования к результату проекта:	Требование:
	Успешное патентование методики на территории РФ; Внедрение методики на производство

5.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 14).

Таблица 14 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	210000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2022 – 31.05.2022
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2021
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2022

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит и процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 8 представлен шаблон иерархической структуры.



Рисунок 15 – Иерархическая структура по ВКР

В данном проекте была использована иерархическая структура проекта ввиду того, что проект по своей сути является больше теоретически-фундаментальным чем практическим, сложность проекта высока.

5.3.2 План проекта

План работ представляется в виде диаграммы Ганта (таб. 15) – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код рабо ты (из ИСР)	Вид работ	Исполни тели	Т _к , дн.	Продолжительность выполнения работ																		
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			И юн ь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Выбор направления исследования	Р, С	3																			
2	Описание требований	Р	7																			
3	Патентный поиск	С	5																			
4	Составление технического задания	Р	14																			
5	Изучение литературы	С	10																			
6	Теоретическое обоснование исследования	С	14																			
7	Изготовление образцов	Р, С	7																			
8	Подготовка образцов к исследованиям	С	14																			
9	Исследование образцов	С	30																			
10	Анализ полученных результатов	С	20																			
11	Описание полученных результатов	С	20																			
12	Проверка работы	Р	15																			



– Руководитель(Р)



– Студент (С)

5.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Сырьё, материальные затраты:

Таблица 16 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Нанопорошок Y-TZP	TOSOH	1 шт. образцы 14*5 гр	11250	787,5
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				562,5
Итого по статье C_m				1350

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ:

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Всё необходимое оборудование для исследований в рамках представленного проекта было предоставлено Наноцентром ТПУ. Программное обеспечение необходимое для проведения анализа экспериментальных результатов распространяется на бесплатной основе.

Основная заработная плата:

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемко-

сти выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в табл. 17.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1		Руководитель	90	1310,24	117921,6
Итого:				117921,6	

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 15); $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 1310,24 \cdot 90 = 117921,6 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2650 руб); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 45 раб. дней

$M=10,4$ месяца, 6 - дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.15).

Тогда, для руководителя:

$$З_{дн} = \frac{32000 * 10,4}{254} = 1310,24 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 18

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	
- выходные дни	52
- праздничные дни	14
Потери рабочего времени	
- отпуск	45
- невыходы по болезни	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	254

Таблица 19 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k_p	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	32000	1.3	41600	1310,24	90	117921,6
Итого по статье З _{осн} :						117921,6

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала:

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{доп} = k_{доп} * З_{осн}, \quad (10)$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп}=0,1$); $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 41600 * 0,1 = 4160 \text{ рублей}$$

В таблице 20 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель
Основная зарплата	117921,6
Дополнительная зарплата	4160
Итого	122081,6

Отчисления на социальные нужды:

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$С_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (117921,6 + 4160) = 36624,48 \text{ руб.} \quad (11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Накладные расходы:

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$С_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$С_{\text{накл}} = 0,4 \cdot (117921,6 + 4160) = 48832,64 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта:

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 21 – Бюджет затрат НТИ

Затраты по статьям						
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1350	-	117921,6	4160	48832,64	36624,48	208888,72

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 208889 руб. При этом затраты у конкурентов больше, как минимум в 5 раз.

5.3.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры была использована табл. 22.

Таблица 22 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая

Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая
---	---------	---------	--------

В данном случае была выбрана проектная структура проекта ввиду новизны разработки, важности реализации задач в короткие сроки и отсутствия взаимосвязи от организаций более высокого уровня.

5.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 23.

Таблица 23 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

5.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 24).

Таблица 24– Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Бюрократические проволочки на стадии регистрации	3	3	ср.	Предварительное ознакомление с правилами регистрации	Загруженность регистрирующих органов
2	Сложность выхода на мировой рынок вследствие монополии конкурентных решений	4	5	высокий	Постепенный выход на рынки стран Азии и стран СНГ	Препятствие выходу методики со стороны существующего стандарта
3	Несвоевременное патентование	2	4	ср.	Предварительное ознакомление с правилами патентования	Затяжная процедура патентования.
4	Потеря актуальности	2	5	ср.	-	Введение нового стандарта раньше патентования методики

5.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**D_{pp}**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему

либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

Чистая текущая стоимость (***NPV***):

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то ***NPV*** определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (13)$$

где ***ЧДП_{опt}*** – чистые денежные поступления от операционной деятельности; ***I₀*** – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году; ***t*** – номер шага расчета (***t*** = 0, 1, 2...***n***); ***n*** – горизонт расчета; ***i*** – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: ***NPV*** > 0.

Чем больше ***NPV***, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если ***NPV*** является положительной.

Допустим, что при успешном патентовании и реализации услуги спрос в среднем на неё составит 3 образца в неделю. Стоимость фазового анализа и его расшифровка составляет 4500 Р за один образец, при этом рабочих дней в году 254. И ежегодно выручка будет увеличиваться на 10 %. Дополнительно каждый месяц будут приобретаться 2 патентные лицензии стоимостью 10000 Р в год + 10000 ежегодно за новый функционал (учтено, что не все потребители согласятся на приобретение расширенной лицензии).

Для дальнейшего развития методики будут привлекаться ежегодные капиталовложения в размере 250 тыс.Р.

Таблица 25 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей, тыс.руб	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от услуг анализа, тыс.руб.	0	110	121,00	133,10	146,41
2	Выручка от продажи лицензий	0	240	612,00	930,60	996,53
3	Денежный приток	0	350	733,00	1063,70	1142,94
4	Операционные затраты С+Ам+ФОТ	0	300	300	300	300
5	Налогооблагаемая прибыль	0	50	433,00	763,70	842,94
6	Налоги	0	10,00	86,60	152,74	168,59
7	Капиталовложения, обслуживание инвестиций	210	250	250	250	250
8	Денежный отток	210	260,00	336,60	402,74	418,59
9	Чистый денежный поток	-210	90,00	396,40	660,96	724,35
10	Коэф. Дисконтирования	1	0,83	0,69	0,58	0,48
11	Дисконтированный денежный поток	-210	75,00	275,28	382,50	349,32
12	Дисконтированное сальдо суммарного потока	-210	-135,00	140,28	522,78	872,10

Из таблицы 25 можно заключить о высоком инвестиционном потенциале предлагаемого проекта. Для определения срока окупаемости с учётом инфляции построены строки 10-12. Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока:

$$PP_{\text{дск}} = 1 + 135 / 275,28 = 1,49 \text{ года}$$

Внутренняя ставка доходности (**IRR**):

Для установления показателя чистой текущей стоимости (**NPV**) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому,

чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (*IRR*).

Между чистой текущей стоимостью (*NPV*) и ставкой дисконтирования (*i*) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 26 и графика, представленного на рисунке 16

Таблица 26 - Зависимость *NPV* от ставки дисконтирования

No	Наименование показателя	0	1	2	3	4
1	Чистые денежные потоки	-210	-135	140,28	522,78	872,1
2	коэффициент дисконтирования					
3	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683
4	i=0,2	1	0,833	0,694	0,579	0,482
5	i=0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350
6	i=0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260
7	i=0,5	1	0,667	0,444	0,296	0,198
8	i=0,6	1	0,625	0,391	0,244	0,153
9	i=0,7	1	0,588	0,346	0,204	0,120
10	i=0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095
11	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077
12	i=0,10	1	0,500	0,250	0,125	0,063

No	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб.						
1	10	-210	-122,73	115,93	392,77	595,66	771,63
2	20	-210	-112,50	97,42	302,53	420,57	498,02
3	30	-210	-103,85	83,00	237,95	305,35	312,46
4	40	-210	-96,43	71,57	190,52	227,01	182,67
5	50	-210	-90,00	62,35	154,90	172,27	89,51
6	60	-210	-84,38	54,80	127,63	133,07	21,12
7	70	-210	-79,41	48,54	106,41	104,42	-30,05
8	80	-210	-75,00	43,30	89,64	83,08	-68,99
9	90	-210	-71,05	38,86	76,22	66,92	-99,06
10	100	-210	-67,50	35,07	65,35	54,51	-122,58



Рисунок 16 – Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что **IRR** составляет 0,64.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (**PI**)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (14)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{75 + 275,28 + 382,5 + 349,32}{920,65} = 1,17$$

PI=1,17>1, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$; **NPV**=74,36 тыс. руб.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 27 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Необходимость изготовления специальных испытательных образцов	Одноэтапный анализ с возможностью исследования готовой продукции
Ручной подбор параметров спекания и состава керамики	Возможность построения зависимостей на основе реального структурного параметра
Низкая точность и зависимость результатов от внешних факторов испытаний	Высокая точность и помехоустойчивость

5.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное уде-

шевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (16)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 28).

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности процесса	0,2	5	3	4
2. Материалоёмкость	0,15	5	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	1	3
4. Энергосбережение	0,1	5	1	3
5. Надежность	0,2	5	2	4
6. Точность анализа	0,2	5	2	4
ИТОГО	1	30	11	21

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{5}{10} = 0.5;$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{8}{10} = 0.8;$$

$$I_T^p = 5 * 0,2 + 5 * 0,15 + 5 * 0,15 + 5 * 0,1 + 5 * 0,2 + 5 * 0,2 = 5;$$

$$I_{T1}^a = 0,2(3 + 2 + 2) + 0,15(2 + 1) + 0,1 * 1 = 1,95;$$

$$I_{T2}^a = 0,2(4 + 4 + 4) + 0,15(3 + 3) + 0,1 * 3 = 3,6;$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\phi}^p} = \frac{5}{0.5} = 10;$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{1,95}{0.8} = 2,44;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a} = \frac{0.2}{0.21} = 0,63.$$

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.8	0.5
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1,95	5
3	Интегральный показатель эффективности	2,44	10
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,63	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (**NPV**) – 74,36 тыс. Р. Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, **NPV** является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта (**PP_{дск}**) составляет 1,49 года. Внутренняя ставка доходности (**IRR**) – 0,64, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства **IRR** > **i**. Индекс доходности (**PI**) – 1,17 и, основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской

работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является текущее исполнение.

5.5 Заключение по разделу

В результате произведённой работы определено, что:

1. Основными потребителями результатов НИР являются крупные промышленные предприятия и испытательные лабораторные центры.
2. Единственное конкурентное решение на рынке в виде стандарта ISO 13356:2015 значительно уступает представленной разработке.
3. При привлечении финансирования на патентование и взаимодействие с производителями переносных комплексов РФА значительно повысят шансы успешной реализации проекта.
4. Проект находится на промежуточной стадии проработки;
5. Коммерциализация проекта возможна с помощью торговли патентными лицензиями и предоставления услуг инжиниринга.
6. Бюджет проекта составляет 210000 рублей.
7. Основные риски проекта связаны со сложностью выхода на мировой рынок вследствие монополии конкурентных решений и потери актуальности.
8. Инвестиционный проект можно считать выгодным.
9. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 1,49 года, что при внутренней ставке доходности $= 0,64$ и индексе доходности $= 1,17$ говорит о экономической оправданности проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4 БМ02		Мусаев Алексей Николаевич	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	<u>магистратура</u> /специалитет	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Степень тетрагональности как критерий оценки гидротермальной стойкости керамики Y-TZP	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	Объект исследования: керамика на основе Y-TZP Область применения: авиакосмическая отрасль, химическая и нефтехимическая промышленность, медицина, тепло- и гидротехника. Рабочая зона: лаборатория. Размеры помещения: 36 м ² . Количество и наименование оборудования рабочей зоны: испытательная установка ИП-500М-авто (ЗИПО), низкоскоростная пила IsoMet (BUENHLER), шлифовально-полировочная полуавтоматическая система EcoMet 300/AutoMet 300 (BUENHLER), УЗ ванна «Град» (Град-Технолоджи), пресс для спекания нанокерамики SPS-1500A (Syntex Inc). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: прессование, спекание, абразивная обработка.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда"; 2. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения); 3. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
2. Производственная безопасность: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Опасные факторы: 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; 2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды; 3. Производственные факторы, обладающие свойствами химического и физического воздействия на организм работающего человека. Вредные факторы: 1. Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума); 2. Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производ-

	ственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов); 3. Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: устройства вентиляции и отчистки воздуха, устройства звукоизолирующие, звукопоглощающие, изолирующие устройства и покрытия, устройства автоматического отключения, предохранительные устройства, знаки безопасности, термоизолирующие устройства, использование защитных халатов, использование защитных перчаток, рукавиц, использование защитных очков; использование средств защиты дыхания. Расчет: расчет системы искусственного освещения.
3. Экологическая безопасность	Воздействие на селитебную зону: отсутствует. Воздействие на литосферу: утилизация бумаги (отход V класса опасности), алюминиевой фольги (отход IV класса опасности), люминесцентных ламп (отход I класса опасности). Воздействие на гидросферу: поступление наночастиц (отходов III класса опасности) в канализацию. Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие неорганические наночастицы различной степени опасности, низкие концентрации оксида углерода.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	Возможные ЧС: техногенные аварии (пожар, авария электроэнергетических систем); геологические воздействия (землетрясения, провалы территории и т.д.). Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Мусаев Алексей Николаевич		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Доступ к выполнению обязанностей на рабочем месте предоставляется только при прохождении инструктажа по технике безопасности и обязательной регистрации в журнале. Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты и смывающие средства, в соответствии с главой 36 ст. 221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [36]. Работа с химическими реактивами и летучими веществами, допускается только в вытяжных шкафах, проводится периодический осмотр оборудования, наведение порядка на рабочем месте, применение индивидуальных средств защиты по ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [37]

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [39].

При проведении социальной оценки условий труда на рабочем месте, работник вправе обращаться к эксперту, проводящей специальную оценку условий труда с предложениями по осуществлению на его рабочем месте идентификации потенциально вредных и (или) опасных производственных факторов и за получением разъяснений по вопросам проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" [40].

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Стол в рабочей зоне исследователя должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте. Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам. При выполнении работ в положении стоя рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15°. Для обеспечения удобного подхода к столу или оборудованию должно быть предусмотрено пространство для стоп. В помещении должен быть организован воздухообмен. При работе с органами управления установки, все органы управления должны быть в зоне досягаемости моторного поля согласно ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя [40]. Персонал допускается к работе только в средствах индивидуальной защиты. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) [41].

6.3 Производственная безопасность при эксплуатации

В процессе исследования с точки зрения возникающих вредных или опасных факторов общий этап работ может быть разделен на три основных этапа:

- 1) изготовление образцов: засыпка нанопорошка Y-TZP в пресс форму, одностороннее прессование / ИПС, свободное спекание;

2) подготовка образцов к исследованиям: гидростатическое взвешивание, распил на низкоскоростной пиле, полировка поверхности, очистка в ультразвуковой ванне;

3) исследование образцов: СЭМ, РФА.

6.3.1 Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

Таблица 30 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038 Электробезопасность. допустимые 82 ССБТ. Предельно уровни прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.0192017 напряжений ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
2	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды	ГОСТ 12.2.00391 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
3	Производственные факторы, обладающие свойствами химического и физического воздействия на организм работающего человека	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности; СанПиН 1.2.3685-21. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны; ГОСТ 12.1.000-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
4	Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 2303-2003
5	Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»

6	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 2305-95; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий
---	---	--

6.3.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током

При изготовлении образцов керамики из Y-TZP возникает необходимость работы на электрооборудовании, таком как, ультразвуковая ванна испытательная установка ИП-500М-авто (ЗИПО), низкоскоростная пила IsoMet (BUEHLER), шлифовально-полировочная полуавтоматическая система EcoMet 300/AutoMet 300 (BUEHLER), УЗ ванна «Град» (Град-Технолоджи), пресс для спекания нанокерамики SPS-1500A (Syntex Inc), вследствие чего возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать 8 В и 1 мА, соответственно (постоянный ток) или 2 В, 0,3 мА (переменный ток частотой 50 Гц) согласно 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [42].

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение таких технических способов и средств основной защиты, как: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих ча-

стей, средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.0192017 ССБТ. Электро-
безопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [42].

6.3.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды

При возникновении неисправностей в работе оборудования искрового плазменного спекания нанокерамики SPS-1500A (Syntex Inc), а также системы подачи воды шлифовально-полировочной полуавтоматической системы EcoMet 300/AutoMet 300 (BUHLER) возможно термическое поражение тканей организма человека.

Конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, если такой контакт может явиться причиной пожара или взрыва, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей, если это может повлечь за собой травмирование, перегрев работающего. Если назначение производственного оборудования и условия его эксплуатации (например, использование вне производственных помещений) не могут полностью исключить контакт работающего с горячими его частями, то эксплуатационная документация должна содержать требование об использовании средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [44].

Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность, вызываемую разбрызгиванием горячих обрабатываемых и (или) используемых при эксплуатации материалов и веществ. Если конструкция не может полностью обеспечить исключение такой опасности, то эксплуатационная документация должна содержать требования об использовании средств защиты, не входящих в конструкцию [44].

6.3.4 Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека

В процессе изготовления образцов происходит высвобождение наночастиц диоксида циркония в воздух окружающей среды в виде аэрозоля. По степени воздействия на организм человека относят к веществам 4-го класса опасности (вещества малоопасные). Предельно допустимая концентрация (ПДК) аэрозоля в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет - $6 \text{ мг} / \text{м}^3$ по СанПиН 1.2.3685-21 «гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [45]. Работы проводятся в вытяжном шкафу с применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. [46]. По воздействию на организм человека относят к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия.

6.3.5 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)

При работе в лаборатории с электрооборудованием и работе вентиляционных систем помещения, возникают звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, которые способны оказать вредное воздействие на безопасность и здоровья работника.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание) [47].

Таблица 31 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [48].

[illegible]

Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя: рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека согласно ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [49].

6.3.6 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов)

При изготовлении образцов Y-TZP керамики необходим контроль процессов прессования, спекания и обработки поверхности, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека.

При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [50]. Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

6.3.7 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения

При длительной работе в условиях недостаточной освещенности или нарушении параметров световой среды, происходит негативное воздействие на организм человека, такое как: развитие близорукости, головная боль, ухудшение зрения и пр.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк согласно СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [51].

Проведем расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока, учитывающего световой поток, отраженный от потолка и стен.

Дано помещение с размерами: длиной и шириной $A = 6$ м и высотой $H = 4$ м. Высота рабочей поверхности $h_{\text{рп}} = 1$ м. Требуется создать освещенность $E_n = 300$ лк

Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_n = 70 \%$.

Коэффициент запаса $K_z = 1,7$;

Коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м, получаем:

$$h = H - h_{\text{рп}} - h_c = 4 - 0,5 - 1 = 2,5 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ м};$$

$$L/3 = 1,2 \text{ м}.$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 12 светильников типа ОД мощностью 80 Вт (с длиной 1,53 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 60 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 17). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8$.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot 2A} = \frac{36}{2,5 \cdot 12} = 1,2;$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,53$.

Определяем потребный световой поток лампы в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,7 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,53} = 4763 \text{ лм};$$

Выбираем стандартную лампу – ЛТБ 80 Вт с потоком 5200 лм.

Проведём проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%;$$

Получаем:

$$-10\% \leq 7,6\% \leq +20\%.$$

Общая мощность осветительной установки:

$$P = 8 \cdot 80 = 640 \text{ Вт}.$$

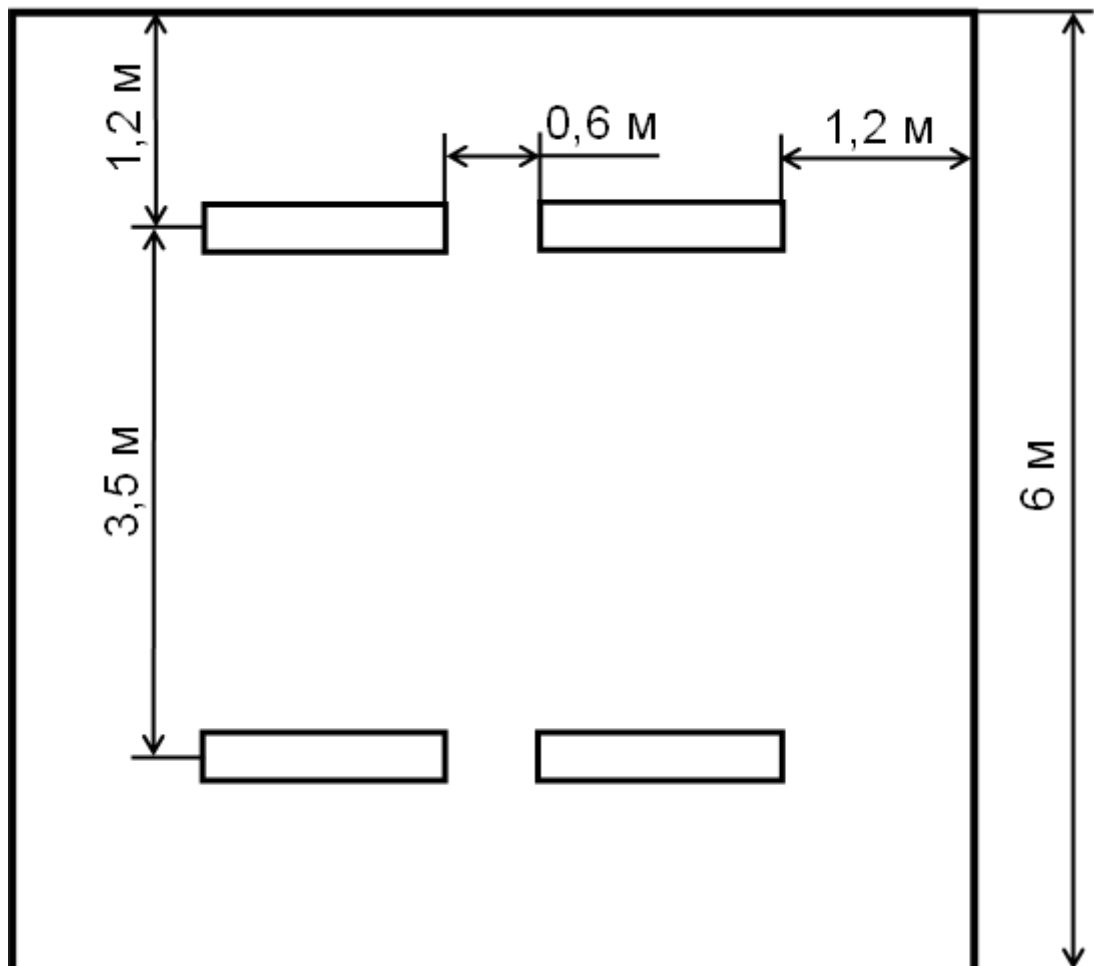


Рисунок 17 – План и размещение светильников с люминесцентными лампами

6.3 Экологическая безопасность

Воздействие на литосферу: в ходе деятельности реализации задачи ВКР создаётся различные бытовые отходы подлежащие утилизации: бумага (отход V класса опасности), алюминиевая фольга (отход IV класса опасности), люминесцентные лампы (отход I класса опасности) по ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [52].

Воздействие на гидросферу: при засыпке наночастиц в прессформу неизбежно их попадание в воздух и осаждение на различные поверхности рабочей среды, при проведении влажной уборки частицы Y-TZP поступают (отход V класса опасности) в канализацию. При употреблении с водой имеют малое воздействие, но могут аккумулироваться в почках и печени. При попадании в окружающую среду оседают в почве и осадочных слоях водоёмов, т.к. склонны к агрегации во влажных средах ЕСНА (Европейское химическое агентство) [53].

Воздействие на атмосферу: наночастицы диоксида циркония в виде аэрозоля могут быть сравнены с частицами других оксидов металлов, и, следовательно, имеют схожее резорбтивное и фиброгенное действие СанПиН 1.2.3685-21 «гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [52]. Для предотвращения их попадания в атмосферу в вытяжной системе лаборатории предусмотрена система фильтрации типа циклон и НЕРА-фильтр.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ наиболее типичных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Вследствие несоблюдения правил техники безопасности, источником возникновения пожара, как наиболее типичной ЧС, может послужить работа в лаборатории с пожароопасными, легковоспламеняющимися, взрывоопасными химическими веществами. Также в результате неполадок электрического обо-

рудования (пресс для спекания нанокерамики SPS-1500A) возможно возникновение пожара.

При возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара. При тушении пожара, вызванного химическими веществами, применяют порошковые, пенные, и углекислотные огнетушители, а также песок. Для тушения электрооборудования применяют углекислотные огнетушители. На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" помещения лабораторий оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, также каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации [54]. Помещение лаборатории категории помещения группы – А, возможный класс пожара – В. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [55].

6.5 Заключение по разделу

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизиологического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [50].

Категория рабочей зоны по электробезопасности по Правила устройства электроустановок. Издание 7 [56]: помещение с повышенной опасностью;

Группа персонала по электробезопасности согласно Приказу № 903н. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок: I-ая.

Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [57].

Категорию тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [52]: Iб (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением);

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [55]: A, возможный класс пожара – B;

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду согласно Постановление № 2398. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий [58]: I-ая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проведённой работы можно заключить следующее:

1. Непродолжительное спекание порошка Y-TZP при температурах выше 1400 °C позволяет получать более плотную керамику с меньшим размером зерна и лучшим сопротивлением к LTD. Данные результаты представляют большой интерес, т.к. противоречат устоявшемуся промышленному технологическому процессу.

2. Применение метода SPS является многообещающей технологией для промышленного производства сверхстойкой Y-TZP керамики.

3. Параметр степени тетрагональности даёт значительно больше информации о стойкости Y-TZP керамики к LTD по сравнению со значением размера зерен.

Разработанная методика может быть применена на существующих производствах для упрощения процесса оптимизации технологических параметров изготовления Y-TZP керамики.

В дальнейшем планируется изучить влияние других легирующих элементов на степень тетрагональности, а так же зависимость параметра c/a на механические свойства керамики.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Мусаев, А. Н. Влияние предварительного искрового плазменного спекания на уплотнение Y-TZP керамики = Influence of spark plasma pre-sintering on densification of Y-TZP ceramics / А. Н. Мусаев, О. С. Толкачёв, Х. Си; науч. рук. О. Л. Хасанов // Перспективы развития фундаментальных наук сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 27-30 апреля 2021 г.: в 7 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой . — 2021 . — Т. 1 : Физика . — [С. 244-246] . — Заглавие с экрана. — [Библиогр.: с. 246 (6 назв.)].

2. Си, Х.. Влияние предварительного спекания на уплотнение Y-TZP керамики = Influence of pre-sintering on densification of Y-TZP ceramic / Х. Си, О. С. Толкачёв, А. Н. Мусаев; науч. рук. О. Л. Хасанов // Перспективы развития фундаментальных наук сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 27-30 апреля 2021 г.: в 7 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой . — 2021 . — Т. 1 : Физика . — [С. 307-309] . — Заглавие с экрана. — [Библиогр.: с. 309 (5 назв.)].

3. Янь, К.. Изотермическое уплотнение предварительно спеченных образцов ATZ = Isothermal densification of pre-sintered ATZ samples / К. Янь, А. Н. Мусаев, Х. Си; науч. рук. О. С. Толкачёв // Перспективы развития фундаментальных наук сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 27-30 апреля 2021 г.: в 7 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой . — 2021 . — Т. 1 : Физика . — [С. 397-399] . — Заглавие с экрана. — [Библиогр.: с. 399 (5 назв.)].

4. На основе результатов ВКР готовится к публикации статья в журнале «Ceramics International» (Q1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каталог продукции из диоксида циркония АО «Чепецкий механический завод»: [Электронный ресурс] // ЧЗМ РОСАТОМ. URL: <http://www.chmz.net/product/keramika/#:~:text=%D0%94%D0%B8%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4%20%D1%86%D0%B8%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F,%D0%BB%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B8%20%D0%B4%D1%80.>
2. Oxide Ceramics – Zirconium Oxide (ZrO₂) The All-purpose Construction Material: [Электронный ресурс] // CeramTec Industrial Materials. URL: <https://www.ceramtec-industrial.com/en/materials/zirconium-oxide>.
3. BIOLOX: [Электронный ресурс] // CeramTec Medical Materials. URL: <https://www.ceramtec-medical.com/en/biolox>.
4. Продукция: [Электронный ресурс] // Moje Keramik. URL: <http://moje-keramik.ru/production/>.
5. DENSIOX: [Электронный ресурс] // CeramTec Medical Materials. URL: <https://www.ceramtec-medical.com/en/densilox>.
6. whiteSKY: [Электронный ресурс] // SKY Implant System. URL: <https://www.bredent-implants.com/products-solutions/sky-implant-system/one-piece-implants/whitesky/>.
7. Продукция: [Электронный ресурс] // Ziceram. URL: <https://zirconceramics.ru/products/>.
8. Zirconia - ZrO₂, Zirconium Dioxide CeramTec MZ BE Zirconia 3Y-TZP, Dental Grade: [Электронный ресурс] // MatWeb material property data. URL:

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=99b4eca68677478bb02d1f79c9d81643&ckck=1>.

9. Hannink R. H. J., Kelly P. M., Muddle B. C. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics //Journal of the American Ceramic Society. – 2000. – Т. 83. – №. 3. – С. 461-487.

10. Pereira G.K.R. et al. Low-temperature degradation of Y-TZP ceramics: A systematic review and meta-analysis // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 55. P. 151–163.

11. Kocjan A. et al. In vivo aging of zirconia dental ceramics—Part I: Biomedical grade 3Y-TZP //Dental Materials. – 2021. – Т. 37. – №. 3. – С. 443-453.

12. High-strength titanium alloys for aerospace engineering applications: A review on melting-forging process

13. Sidambe A. T. Biocompatibility of advanced manufactured titanium implants—A review //Materials. – 2014. – Т. 7. – №. 12. – С. 8168-8188.

14. Titan characteristics: [Электронный ресурс] // Kobe Steel. URL: <https://www.kobelco.co.jp/english/titan/characteristic/>.

15. Hannink R. H. J., Kelly P. M., Muddle B. C. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics //Journal of the American Ceramic Society. – 2000. – Т. 83. – №. 3. – С. 461-487.

16. Mason T.O. Advanced structural ceramics: [Электронный ресурс] // Encyclopædia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/transformation-toughened-zirconia>.

17. Bechepeche A. P. et al. Experimental and theoretical aspects of the stabilization of zirconia //Journal of materials science. – 1999. – Т. 34. – №. 11. – С. 2751-2756.

18. Fuel Cells: [Электронный ресурс] / DoITPoMS // University of Cambridge. URL: <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/fuel-cells/printall.php>

19. Scott H. G. Phase relationships in the zirconia-yttria system //Journal of materials science. – 1975. – Т. 10. – №. 9. – С. 1527-1535.

20. Ramesh S., Lee K. Y. S., Tan C. Y. A review on the hydrothermal ageing behaviour of Y-TZP ceramics //Ceramics International. – 2018. – Т. 44. – №. 17. – С. 20620-20634.
21. Grech J., Antunes E. Optimization of two-step sintering conditions of zirconia blanks for dental restorations //Ceramics International. – 2020. – Т. 46. – №. 16. – С. 24792-24798.
22. Московских Д.О. Получение субмикронного порошка карбида кремния и наноструктурированной керамики на его основе: дис. канд. техн. наук: 25.00.15. – нац. исслед. тех. университет, Москва, 2017 - 166 с.
23. Wei C., Gremillard L. Surface treatment methods for mitigation of hydrothermal ageing of zirconia //Journal of the European Ceramic Society. – 2019. – Т. 39. – №. 14. – С. 4322-4329.
24. Oblak C. et al. Survival-rate analysis of surface treated dental zirconia (Y-TZP) ceramics //Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2014. – Т. 25. – №. 10. – С. 2255-2264.
25. Grant K. L., Rawlings R. D., Sweeney R. Effect of HIPping, stress and surface finish on the environmental degradation of Y-TZP ceramics //Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2001. – Т. 12. – №. 6. – С. 557-564.
26. Pereira R. S. F. et al. Improvement of 3Y-TZP aging behavior by means of zirconia-based protective layers //Journal of the European Ceramic Society. – 2020. – Т. 40. – №. 12. – С. 4315-4322.
27. Cattani-Lorente M. et al. Effect of different surface treatments on the hydrothermal degradation of a 3Y-TZP ceramic for dental implants //Dental Materials. – 2014. – Т. 30. – №. 10. – С. 1136-1146.
28. Kern F. Evidence of phase transitions and their role in the transient behavior of mechanical properties and low temperature degradation of 3Y-TZP made from stabilizer-coated powder //Ceramics. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 271-285.
29. ISO 13356:2015. Implants for surgery — Ceramic materials based on yttria-stabilized tetragonal zirconia (Y-TZP). – 2015. – 13 с.
30. JIS A 5207:2019. Sanitary wares. – 2019. – 50 с.

31. Рентгеновская дифракция. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов [Электронный ресурс] // <https://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1619>.

32. Кржижановская М. Г., Фирсова В. А., Бубнова Р. С. Применение метода Ритвельда для решения задач порошковой дифрактометрии // Учебное пособие. Санкт-Петербургский университет. – 2016.

33. Толкачёв О. С. и др. Оценка гидротермальной стойкости керамики Y-TZP по степени тетрагональности основных фаз // Письма о материалах. – 2020. – Т. 10. – №. 4. – С. 416-421.

34. ГОСТ 21073.3-75. Определение величины зерна методом подсчета пересечений зерен. – М.: 1987. – 2 с.

35. Шмойлова Р.А., Минашкин В.Г., Садовникова Н.А. Практикум по теории статистики. — 3-е изд. — М.: Финансы и статистика, 2011. — С. 127. — 416 с.

36. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018), «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты»: г. 36 ст. 221.

37. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018), «Работа в режиме гибкого рабочего времени»: 16 ст. 102.

39. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".

40. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя.

41. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

42. 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

43. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

44. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
45. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
46. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
47. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
48. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
49. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
50. МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности».
51. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
52. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.
53. Zirconium dioxide. [Электронный ресурс]: ЕСНА – Режим доступа: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.013.844>.
54. ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" помещения лабораторий оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, также каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.
55. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
56. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Утверждено Министерством энергетики РФ, приказ от 8 июля 2002 г. № 204.

57. Приказ № 903н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

58. Постановление № 2398. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Material and research methods Results

Разделы 3 и 4 Материал и методики исследования

Результаты

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ02	Мусаев Алексей Николаевич		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения иностранных языков	Демьяненко Наталия Владимировна	-		

3 MATERIAL AND RESEARCH METHODS

3.1 Material

The ZrO_2 with 3 mol.% Y_2O_3 nanopowder (TZ-3YS, Tosoh Co., Japan) was used as the starting material for the samples; the specific surface area of the particles declared by the manufacturer was $7 \pm 2 \text{ m}^2/\text{g}$. The powder composition was characterized by XRD on an XRD-7000S diffractometer (Shimadzu, Japan), the granulometric characteristics of the powder were analyzed using the laser diffraction method, and the specific surface area was refined by the BET method.

3.2 Manufacturing and preparation methods of samples

To prepare green compacts 2 g of powder was uniaxially pressed in a steel cylindrical mold with inner diameter of 14 mm at pressure of 75 MPa. Sintering was carried out in a high-temperature laboratory furnace LHT 08/18 (Nabertherm) at a temperatures of 1400 and 1500 °C, with holding times of 0, 2 and 6 h, a heating rate was 200 °C/h, at a temperature of 1100 °C it decreased to 100 °C/h. Cooling was carried out in the air.

Fabrication of samples by SPS was carried out in a SPS 515S (SPS Syntex) using a graphite cylindrical mold with inner diameter of 14 mm. Pressing pressure 75 MPa, sintering temperature 1350 °C, isothermal exposure 10 min. The heating and cooling rate was 100°C/min. During heating, 50°C to the specified sintering temperature, the heating rate was reduced to 50°C/min, and after 3°C to 3°C/min

After sintering, the surface of the samples was polished and subjected to thermal etching at 1100°C for 1 h.

3.2 LTD tests

Accelerated LTD tests were carried out according to ISO 13356:2015 in an autoclave in an aqueous medium, at a temperature of 134 °C and a pressure of 0.2 MPa, for 10 hours.

3.3 Characterization of sintered bulk

The density of compacts and pre-sintered samples was determined based on measurements with a micrometer and lab scales. The theoretical density of Y-TZP was taken as 6.1 g/cm³. When calculating the relative density of the compacts, the weight was corrected for the value of the organic binder content in the powder (3%). The densities of the sintered bulks were determined using Archimedes' method with deionized water as the immersion medium.

XRD was performed on an XRD-7000S diffractometer (Shimadzu, Japan) on a polished surface in the range of angles (from 15° to 70° in 2θ) using the Rietveld method in the free software «PowderCell». For refinement, we used the corresponding PDF files of the tetragonal (PDF Card — 01-075-9648) and monoclinic (PDF Card — 00-065-0687) phases

Without changing the lattice type, when converting the basis vector from the space group (137) to the coordinates of the space group (225), the numerical values of the two lattice parameters will change by the square root of two and will form a set of values that allow us to correctly represent the degree of tetragonality by a simple ratio c/a . Thus, the degree of tetragonality c/a , along with information about the content of phases, can be used to compare and search for regular relationships between sintering modes, sizes of structural elements of ceramics and parameters of its crystal structure with the results of LTD.

The content of the monoclinic phase in the samples after LTD was estimated in a narrow range of angles (from 26° to 33° in 2θ), similarly to [33] using formula (4):

$$f_m = \frac{I_m(11\bar{1}) + I_m(111)}{I_m(11\bar{1}) + I_m(111) + I_t(101) + I_c(111)}, \quad (4)$$

где I – integral intensity, and the indices m , t , and c mean the monoclinic, tetragonal, and cubic phases, respectively.

The microstructure of the samples was studied using transmission and scanning transmission electron microscopy (TEM and STEM, respectively) on a JSM-

2100F setup (JEOL, Japan) after sample preparation, which was carried out by ion etching on an Ion Slicer setup (JEOL, Japan). Image analysis was carried out in the freely distributed «fiji» software. The average conditional grain size D_{av} was determined by counting grain intersections according to ГОСТ 21073.3-75. The average equivalent grain diameter d_{eq} was calculated on the basis of the measured grain area S according to formula (5), at least 500 measurements were made for each sample.

$$d_{eq} = 2\sqrt{S/\pi}. \quad (5)$$

The distribution mode of the average grain diameter was determined by the formula (6):

$$Mo = X_{Mo} + h_{Mo}(f_{Mo} - f_{Mo-1})/((f_{Mo} - f_{Mo-1}) + (f_{Mo} - f_{Mo+1})), \quad (6)$$

где X_{Mo} - left border of the modal interval; h_{Mo} - length of the modal interval;

f_{Mo-1} - frequency of the premodal interval; f_{Mo} - frequency of the modal interval;

f_{Mo+1} - frequency of the postmodal interval [35].

4 RESULTS

4.1 Characterization of raw powder

Analysis of SEM images of Y-TZP powder (Fig. 5) showed that it consists of primary particles (crystallites) 100 ± 30 nm in size, and their shape is close to equiaxed. The investigated Y-TZP powder contains 5.15 wt.% Y_2O_3 , less than 3 wt.% HfO_2 and less than 0.1 wt.% Al_2O_3 .

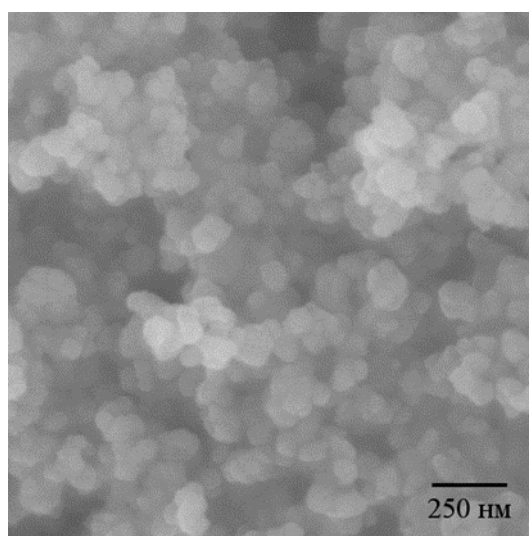


Figure 5 – SEM images of Y-TZP powder

The study of the phase composition by XRD revealed that the powder consists of tetragonal (65.8 vol.%) and monoclinic (34.2 vol.%) modifications of ZrO_2 with CSR sizes of 50 nm and 26 nm, respectively.

Based on the laser diffraction data, histograms of the quantitative and volumetric distribution of structural elements of the Y-TZP powder were constructed (Fig. 6). Table 3 shows the granulometric characteristics of the powder.

Table 3 – Granulometric characteristics of the Y-TZP powder

D10, μm		D50, μm		D90, μm		Average size, μm	
quan.	vol.	quan.	vol.	quan.	vol.	quan.	vol.
0,152	0,197	0,203	0,530	0,306	1,291	0,203	0,53

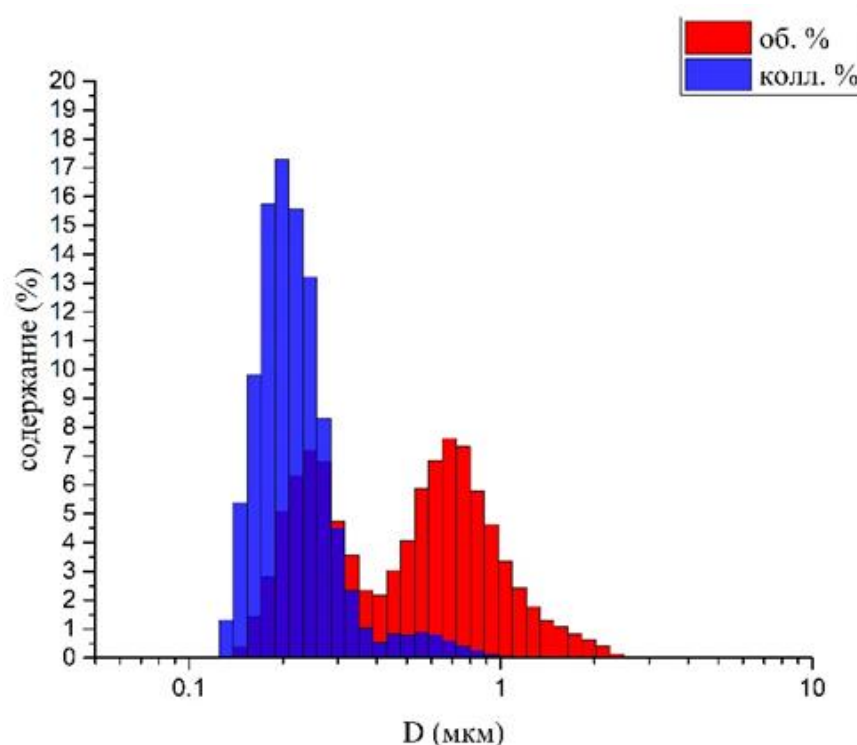


Figure 6 – Distribution of structural elements of Y-TZP powder by size

The specific surface area of the studied powder, calculated by the BET method, was $7 \pm 2 \text{ m}^2/\text{g}$, which in the spherical approximation corresponds to a particle diameter of $140 \pm 40 \text{ nm}$.

As a result of the characterization of the starting material, it was found that the powder contains 34.2% monoclinic and 65.8% tetragonal phases, the average particle size based on granulometric data and approximation from the calculation of the specific surface area is in the range from 100 to 530 nm. The value of the specific surface corresponds to that specified by the manufacturer.

4.2 Sintering of samples

The pressing and sintering conditions were selected based on the manufacturer's recommendations. The compact density after uniaxial one-sided pressing at 75 MPa were $2.6 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ (42.7%). Results of sintering are presented in Table 4.

Таблица 4 – Results of sintering and SPS

№	Sintering temperature, °C	Holding time, h	Density, g/cm ³	Relative density, %
1	1400	0	3,88	63,6%
2	1400	2	4,86	79,7%
3	1400	6	5,34	87,6%
4	1500	0	5,58	91,4%
5	1500	2	5,96	97,8%
6	1500	6	6,09	99,8%
7	SPS 1350	0,17	6,09	99,8%

The relative density of the sample after 6 hours of sintering at 1400°C is 87.6%. Whereas, the density of the sample sintered at 1500 °C is 91.4% already at the beginning of isothermal exposure. The use of SPS makes it possible to obtain ceramics with a density close to the theoretical value at a much lower temperature and a short isothermal holding time.

4.3 Analysis of XRF data

Table 5 presents the results of the refinement of the samples structure by the Rietveld method. It has been found that the best results are obtained when using two types of tetragonal phases. We divided them according to the criterion of the degree of tetragonality. t_1 -phase is a phase with a degree of tetragonality (c/a) more than 1.014 and t_2 -phase is a phase with c/a less than 1.014.

Table 5 – Results of determining the structural parameters of samples by the Rietveld method and assessing the content of the monoclinic phase after LTD tests

Метод спекания		t_1 -phase				t_2 -phase				R_{wp}	m -phase
$T_{sin},$ °C	$t_{sin},$ h	$C,$ %	$a,$ nm	$c,$ nm	c/a	$C,$ %	$a,$ nm	$c,$ nm	c/a		$C,$ %
1400	0	76	3,6066	5,1717	1,0140	24,27	3,6192	5,1783	1,012	11,22	6,3%
	2	68	3,6045	5,1736	1,0149	32,01	3,6173	5,1697	1,011	11,69	6,2%
	6	66	3,6048	5,1777	1,0156	33,84	3,6186	5,1637	1,009	12,7	44,8%
1500	0	86	3,6064	5,1781	1,0153	13,54	3,6253	5,1668	1,008	11,64	11,4%
	2	73	3,6055	5,1786	1,0162	27,39	3,6246	5,1627	1,007	15,25	55,5%
	6	63	3,6045	5,1803	1,0156	36,88	3,6208	5,1615	1,008	13,4	65,3%
SPS		100	3,6087	5,1753	1,0141	0	-	-	-	-	0 %

Based on the data in Table 5, it can be concluded that with an increase in the content of the t_2 - phase close in its shape to cubic, the t_1 -phase is depleted of yttrium. As a result, its ability to T→M transformation increases, which negatively affects the resistance of ceramics to degradation.

When analyzing the results of hydrothermal aging it was found, that samples sintered at 1500 °C for 2 and 6 hours did not have t_1 -phase. This fact indicates a tendency to degradation of the t_1 -phase.

Let us consider in more detail the dependence of the content of the monoclinic phase in the samples after accelerated hydrothermal aging (Figure 7).

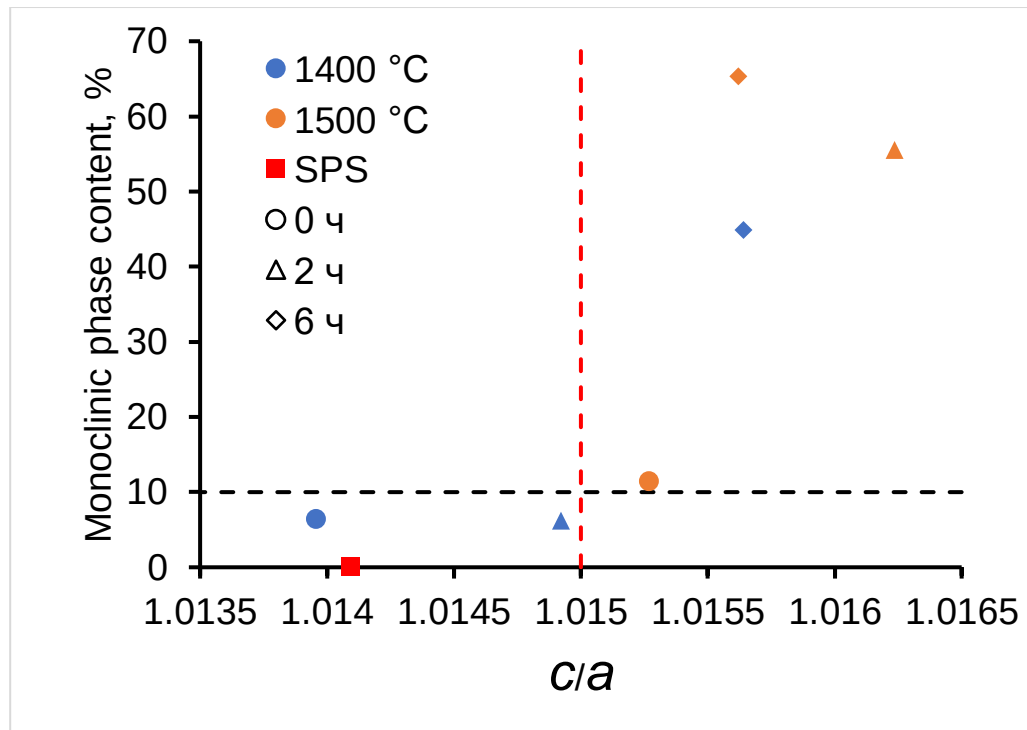


Figure 7 – Dependence of monoclinic phase content on degree of tetragonality (c/a) of the t_1 -phase, the black dotted line shows the limit of the allowable concentration of the monoclinic phase, the red line shows the critical value of c/a of the stable tetragonal phase

After analyzing Figure 7, we can draw the following conclusions: samples with a degree of tetragonality higher than 1.015 has low resistance to LTD; with an increase in sintering temperature and isothermal holding time, the c/a index also increases.

Based on the analysis of XRD data, it can be concluded that an increase in the temperature and time of isothermal holding of free sintering increases the content of t_2 - phase and the degree of tetragonality of t_1 - phase, which reduces the resistance of ceramics to LTD. The use of SPS technology for the manufacture of Y-TZP ceramics significantly increases its resistance to LTD.

4.4 Analysis of SEM data

For electron microscopy, the surface of all samples was subjected to polishing and subsequent thermal etching at 1100°C for 1 h. Based on the obtained images (Fig. 8), two parameters were analyzed, the distribution of the average grain diameter (Fig. 9) and the relative occupied area of the grains (Fig. 10).

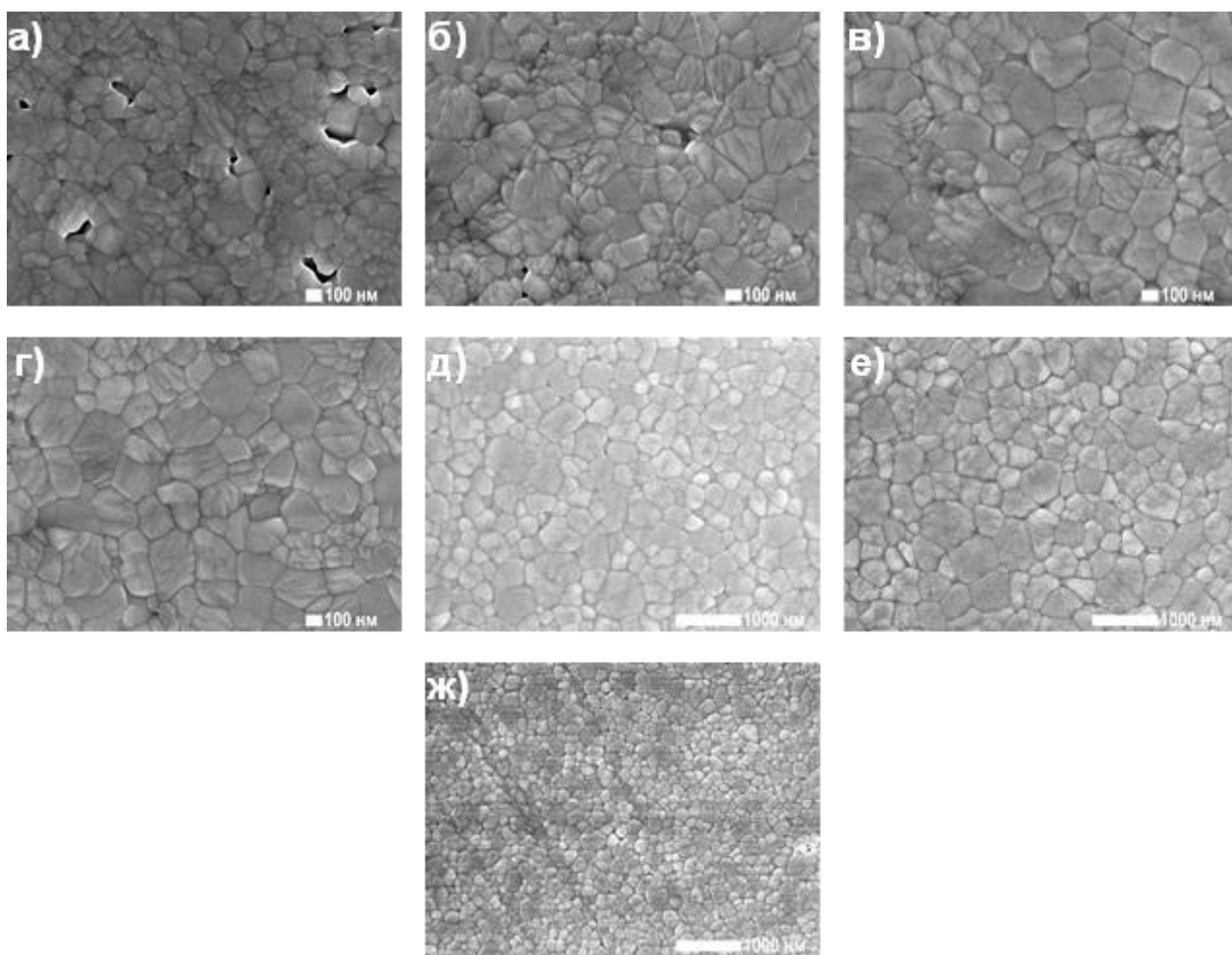


Figure 8 – SEM images of the surface of sintered specimens: 1400 °C а) 0 h, б) 2 h, в) 6 h; 1500 г) 0 h, д) 2 h, е) 6 h; ж) SPS

As can be seen from fig. 8 with an increase in sintering time and temperature, the number of large grains increases, which corresponds to the results of other studies [20] and is confirmed by the histograms:

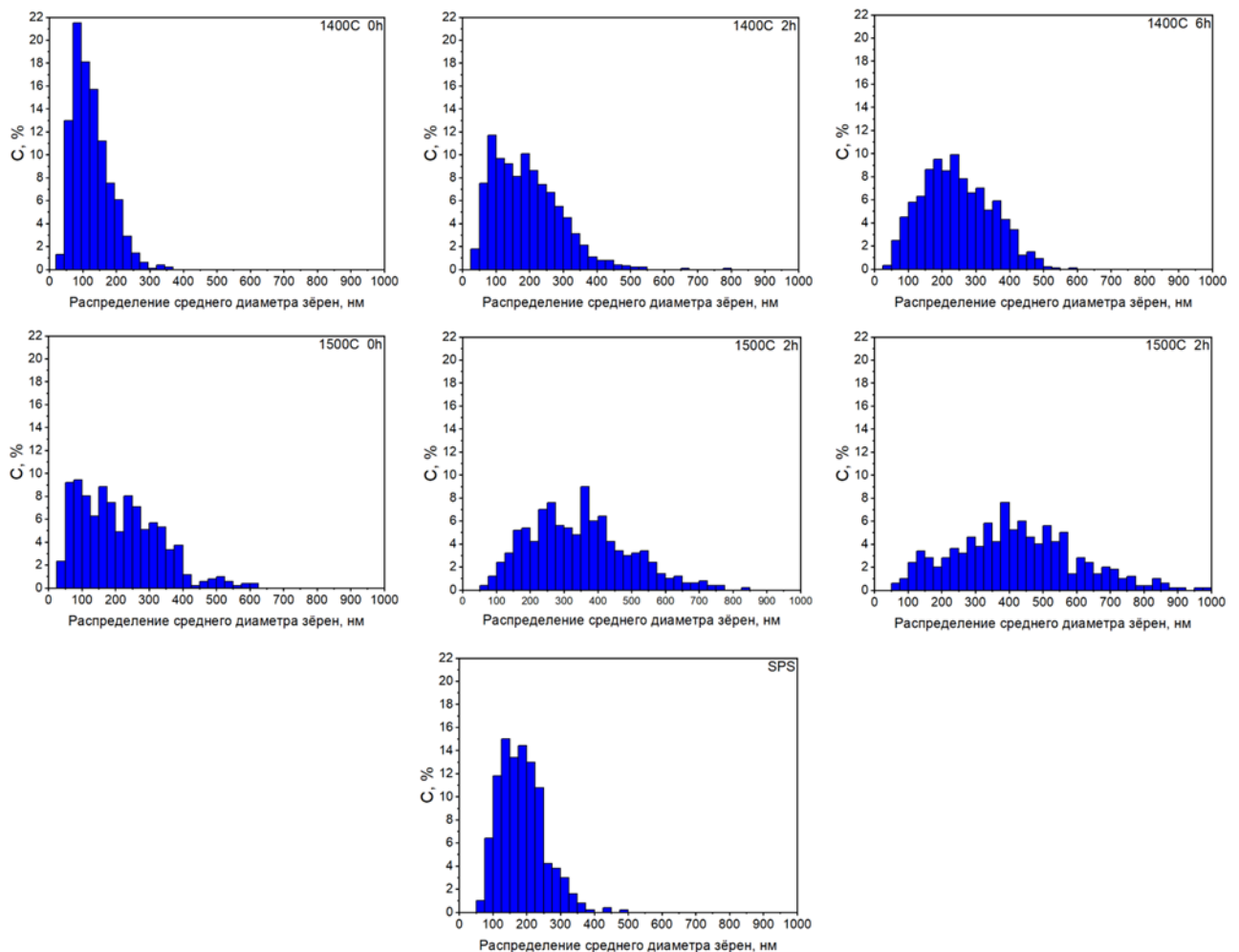


Figure 9 – Distribution of the average grain diameter histograms of sintered specimens

As follows from the obtained histograms (Fig. 9), the sample sintered at 1400°C with no isothermal exposure has the highest monodispersity, with grains ranging in size from 50 to 175 nm account for 79.3% of the total number. With an increase in temperature and time of isothermal exposure, the mode of distribution of the average grain diameter shifts to the right, while in samples sintered at 1500 °C with an exposure time of 2 and 6 h, a significant increase in the content of grains with $d_{av} > 500$ nm is noticeable. The sample prepared by the SPS method also has a high

monodispersity, but in comparison with the sample at 1400 °C 0 h, it has a distribution mode shifted to the right.

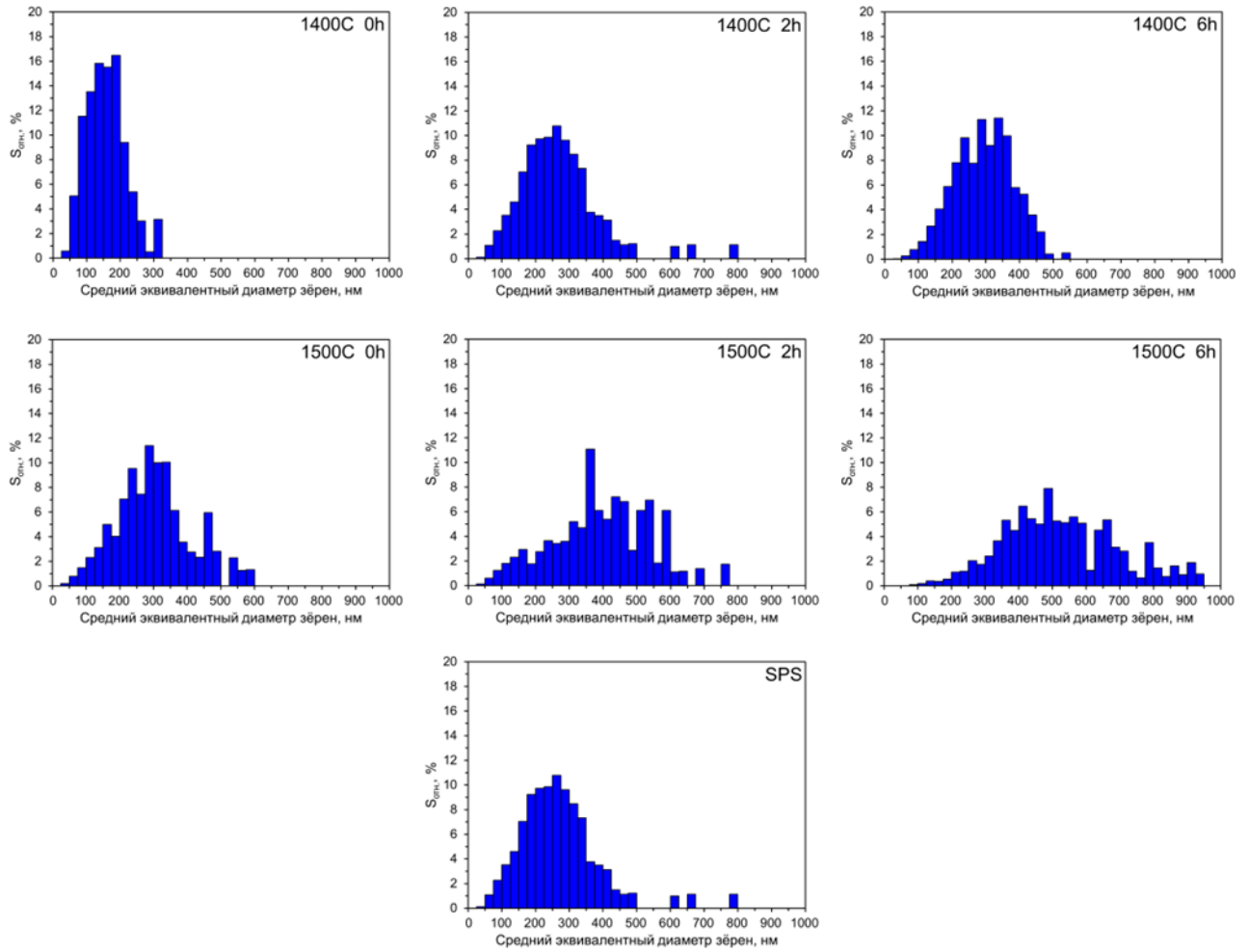


Figure 10 – Histograms of the relative occupied area of the grains

In comparison with the distribution histograms of the average grain diameter (Fig. 9), the modes of the graphs in Figs. 10 are shifted to the right by an average of 100 nm. However, the overall picture has only minor changes.

Table 6 shows the parameters d_{10} , d_{50} , d_{90} , D_{av} and Mo for each sample calculated on the basis of d_{av} and d_{eq} .

Table 6 – Density and grain distribution parameters of samples

Parameter		1400 0h	1400 2h	1400 6h	1500 0h	1500 2h	1500 6h	SPS
$\rho_{rel}, \%$		63,6	79,7	87,6	91,4	97,8	99,8	99,8
$d_{10}, \text{ nm}$	d_{av}	92	106	153	114	216	275	122
	d_{eq}	85	138	177	160	186	323	130
$d_{50}, \text{ nm}$	d_{av}	166	230	283	268	390	488	201
	d_{eq}	153	255	295	296	389	510	205
$d_{90}, \text{ nm}$	d_{av}	254	367	410	419	598	732	303
	d_{eq}	232	390	409	463	583	791	299
$D_{av}, \text{ nm}$	d_{av}	124	191	244	212	344	421	185
	d_{eq}	114	175	224	194	215	388	172
$Mo, \text{ nm}$	d_{av}	93	92	235	78	365	390	142
	d_{eq}	178	261	340	293	364	488	196

Particular attention should be paid to specimens 1400°C 6 h and 1500°C 0 h, at relatively similar density values, the sample sintered with long isothermal exposure has a larger grain size (Table 6). Therefore, a short sintering at 1500°C can make it possible to obtain a sample with a smaller grain size than a long one at 1400°C.

4.5 Comparison of XRF and SEM data

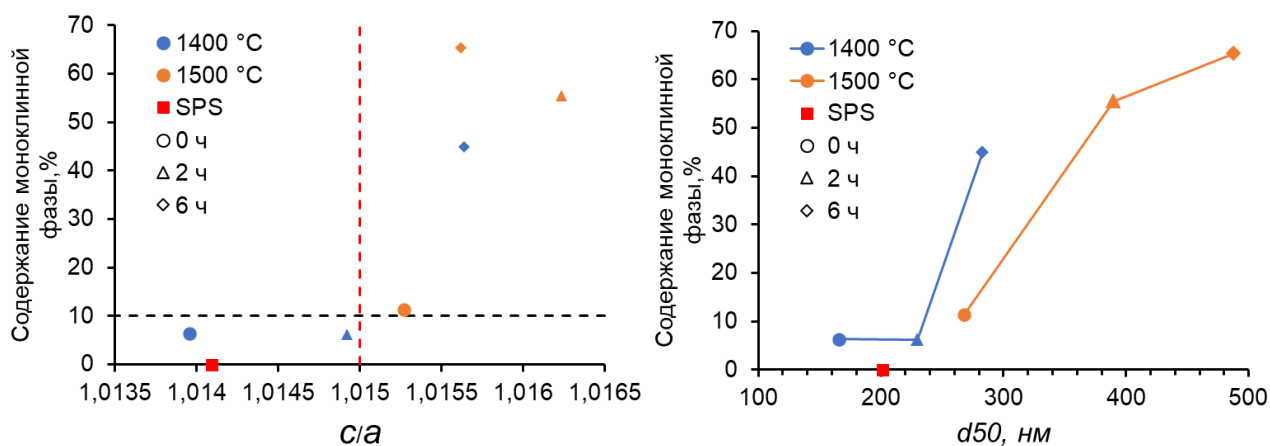


Figure 14 – Comparison of the dependence of monoclinic phase content on degree of tetragonality (c/a) of t_1 -phase and the parameter d_{50}

When comparing the influence of the parameters c/a and d_{50} (Fig. 14), it can be seen that the sample sintered at 1400 °C for 6 hours and the sample sintered at 1500 °C without isothermal holding have a similar grain size, but their behavior at LTD is significantly different, which can be explained on the basis of c/a values.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ДАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЗЁРЕН

1400 С 0h							
№	S, нм ²	D _{max} , нм	D _{min} , нм	№	S, нм ²	D _{max} , нм	D _{min} , нм
1	27150	257	161	47	2788	89	42
2	14078	185	115	48	10638	157	108
3	1211	55	33	49	840	36	30
4	6502	115	83	50	1821	69	36
5	12627	161	121	51	2010	69	38
6	13865	174	107	52	514	35	24
7	3004	75	54	53	5648	106	79
8	12881	167	97	54	18203	177	143
9	32929	237	202	55	2298	69	48
10	23306	213	170	56	9527	145	103
11	13800	152	119	57	727	39	28
12	10144	137	104	58	8591	122	102
13	5525	98	82	59	4053	100	64
14	42462	311	197	60	2095	65	49
15	23206	214	152	61	1519	57	38
16	12850	179	109	62	6269	121	79
17	14078	154	120	63	15230	160	133
18	7551	113	85	64	3649	75	70
19	34242	243	186	65	7226	113	89
20	8896	144	84	66	16828	219	136
21	22243	219	151	67	15247	200	106
22	3824	87	56	68	7695	117	86
23	9575	138	94	69	8162	161	89
24	3721	105	61	70	5453	103	78
25	3254	75	54	71	11283	149	97
26	11523	181	105	72	27359	214	189
27	9698	137	96	73	13604	173	121
28	9345	142	101	74	7294	108	93
29	1732	64	46	75	3731	101	58
30	4270	96	65	76	4040	87	63
31	5079	100	68	77	19849	250	109
32	8621	137	94	78	13316	181	116
33	13169	157	114	79	16965	193	124
34	3398	84	59	80	19870	211	127
35	2997	74	59	81	22884	202	162
36	37174	249	196	82	4969	95	71
37	2867	84	47	83	4551	91	66
38	5641	135	65	84	18316	188	144
39	17287	169	153	85	3783	82	61
40	3422	87	55	86	3810	86	60
41	6512	120	89	87	27682	225	178
42	8402	135	89	88	7593	117	92
43	17435	200	115	89	6231	129	70
44	35943	282	198	90	3738	78	69
45	6413	132	70	91	5497	115	76
46	631	36	27	92	5117	110	79

1400 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
93	2788	89	42	141	4184	102	55
94	10638	157	108	142	3738	96	61
95	840	36	30	143	23673	232	138
96	1821	69	36	144	6221	130	69
97	2010	69	38	145	3045	77	58
98	514	35	24	146	5703	110	72
99	5648	106	79	147	6451	132	71
100	18203	177	143	148	4407	98	64
101	2298	69	48	149	38916	259	212
102	9527	145	103	150	5130	93	70
103	727	39	28	151	13234	170	122
104	8591	122	102	152	2833	68	55
105	4053	100	64	153	3642	122	49
106	2095	65	49	154	1286	46	37
107	1519	57	38	155	10096	163	107
108	6269	121	79	156	3604	110	42
109	15230	160	133	157	11783	197	93
110	3649	75	70	158	2678	81	48
111	7226	113	89	159	1553	57	39
112	16828	219	136	160	3738	99	55
113	15247	200	106	161	3416	90	51
114	7695	117	86	162	6207	128	75
115	8162	161	89	163	2054	62	49
116	5453	103	78	164	2860	75	60
117	11283	149	97	165	2198	68	42
118	27359	214	189	166	12184	143	110
119	13604	173	121	167	33505	279	167
120	7294	108	93	168	12953	160	118
121	3731	101	58	169	4678	92	66
122	4040	87	63	170	9246	120	96
123	19849	250	109	171	6992	108	92
124	13316	181	116	172	1794	58	45
125	16965	193	124	173	7761	123	88
126	19870	211	127	174	5075	98	76
127	22884	202	162	175	5171	96	70
128	4969	95	71	176	5988	131	71
129	4551	91	66	177	34050	272	198
130	18316	188	144	178	2088	65	48
131	3783	82	61	179	7857	128	99
132	3810	86	60	180	6238	107	78
133	27682	225	178	181	6447	104	81
134	7593	117	92	182	7047	108	93
135	6231	129	70	183	3628	83	62
136	3738	78	69	184	5271	93	75
137	5497	115	76	185	3515	86	59
138	5117	110	79	186	17455	191	147
139	6289	123	74	187	7380	120	91
140	5261	120	68	188	4304	100	54

1400 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
189	18234	199	133	237	2366	74	46
190	9163	120	100	238	2473	76	50
191	3896	83	61	239	2541	67	52
192	16368	186	121	240	1149	48	35
193	16883	193	118	241	1958	63	47
194	2298	84	41	242	72956	380	276
195	2599	75	50	243	7891	151	78
196	2874	87	45	244	7980	139	87
197	3350	85	54	245	11012	135	108
198	16231	196	136	246	2980	78	60
199	5161	95	78	247	25916	251	149
200	22963	221	182	248	5676	105	78
201	4499	86	67	249	3975	90	65
202	2236	100	35	250	28831	236	161
203	8145	138	81	251	2078	62	49
204	6749	104	89	252	6938	107	92
205	16663	184	146	253	3608	93	51
206	3872	90	61	254	5154	117	66
207	1608	56	37	255	5021	117	69
208	1746	77	34	256	2558	69	54
209	3776	77	66	257	16097	181	125
210	1190	53	36	258	9029	130	87
211	2184	80	34	259	3580	91	54
212	1944	61	47	260	3820	94	54
213	3402	87	57	261	4444	95	59
214	3676	77	67	262	5600	108	80
215	4551	90	76	263	2781	71	52
216	4290	109	58	264	19060	180	142
217	3374	100	59	265	3292	87	60
218	7274	126	81	266	7054	119	82
219	9914	130	112	267	3028	90	58
220	4160	86	62	268	6756	108	85
221	10103	169	82	269	24191	224	162
222	25285	230	174	270	4949	131	50
223	8299	129	88	271	40353	247	224
224	10257	147	108	272	9931	143	105
225	7425	124	80	273	5466	106	82
226	12154	146	119	274	4712	98	69
227	4170	99	60	275	4811	102	69
228	4259	89	67	276	2167	71	44
229	2164	80	42	277	2888	81	57
230	6372	131	71	278	18237	193	148
231	1221	54	31	279	8916	131	91
232	21437	197	148	280	50271	309	228
233	8954	162	96	281	20127	212	128
234	3597	104	57	282	3501	95	58
235	7040	130	70	283	7003	123	91
236	11454	138	123	284	6944	116	81

1400 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
285	3066	81	52	333	7617	122	93
286	5511	96	75	334	13230	155	120
287	6879	128	81	335	19647	190	149
288	3138	84	53	336	15772	210	130
289	16975	170	140	337	2726	80	51
290	1416	54	38	338	5689	102	79
291	14650	167	124	339	7987	124	95
292	4496	97	67	340	2147	76	43
293	4829	121	61	341	6056	128	64
294	3392	86	61	342	3947	120	61
295	1529	60	40	343	12397	161	128
296	2082	69	41	344	9438	183	84
297	19403	189	155	345	3735	82	65
298	2037	71	48	346	2006	70	43
299	5099	138	53	347	1348	58	35
300	6245	99	85	348	2058	75	43
301	3182	78	58	349	1701	63	39
302	13066	182	119	350	7743	172	57
303	3337	76	64	351	4719	116	62
304	6022	111	80	352	4894	97	78
305	6348	107	78	353	3416	95	58
306	7898	130	85	354	2126	78	45
307	4774	107	74	355	7764	189	79
308	10696	148	116	356	3971	80	66
309	2966	94	48	357	1471	66	30
310	2027	74	45	358	8995	176	88
311	1536	54	41	359	2589	87	51
312	7966	139	83	360	2219	81	41
313	12085	153	124	361	8114	136	93
314	31128	256	191	362	10535	152	110
315	5933	116	65	363	2068	63	47
316	11505	156	99	364	14911	166	117
317	16862	192	120	365	11903	225	87
318	13597	177	108	366	2778	80	48
319	5075	95	70	367	2572	76	52
320	4733	97	65	368	1653	57	42
321	14129	202	96	369	4444	115	55
322	12404	171	115	370	11019	149	103
323	24204	232	155	371	4842	98	68
324	4438	103	61	372	55480	340	244
325	6190	114	83	373	49259	342	219
326	33025	290	177	374	12167	163	99
327	5216	109	65	375	5058	105	61
328	5850	126	64	376	19520	212	127
329	1423	50	39	377	5806	134	104
330	4822	86	73	378	22798	254	132
331	10652	138	114	379	10473	141	108
332	10024	140	103	380	24671	259	158

1400 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
381	9029	183	83	429	82365	441	268
382	2960	93	53	430	8407	144	89
383	8313	134	90	431	25461	240	138
384	6289	116	81	432	41663	283	233
385	30559	253	188	433	7228	126	89
386	7287	117	90	434	24522	222	165
387	5754	94	81	435	11922	207	85
388	3278	104	45	436	23692	198	174
389	27689	224	168	437	18211	228	147
390	5905	121	89	438	34108	238	201
391	3378	97	52	439	5110	105	67
392	4084	93	56	440	5546	104	77
393	8738	131	86	441	14892	172	112
394	9544	134	93	442	4455	100	60
395	2215	90	45	443	15744	183	126
396	4805	96	73	444	7664	144	75
397	3813	98	55	445	29348	246	186
398	2833	75	55	446	21246	201	152
399	7466	131	98	447	7446	107	93
400	2215	63	52	448	34741	253	197
401	23968	211	168	449	44720	288	239
402	10158	167	81	450	9433	143	100
403	3018	81	45	451	7970	132	81
404	8861	154	83	452	8363	160	81
405	12898	182	95	453	5110	122	53
406	4170	95	66	454	13036	179	103
407	5223	110	74	455	12992	182	105
408	4239	97	61	456	26094	223	164
409	24818	204	182	457	12315	180	87
410	12867	158	117	458	20526	182	162
411	1814	61	47	459	8341	144	89
412	8680	138	98	460	25657	246	152
413	2010	77	36	461	16814	163	143
414	2723	82	52	462	19936	199	137
415	2061	80	36	463	20286	192	159
416	7675	113	96	464	13145	172	105
417	4753	98	64	465	7730	130	89
418	35658	255	195	466	1965	76	36
419	8647	131	89	467	21094	246	118
420	1812	59	44	468	38759	282	212
421	35986	285	178	469	11508	181	79
422	9324	144	98	470	7992	131	84
423	40833	313	191	471	6594	129	72
424	5874	124	68	472	17250	196	117
425	17971	218	109	473	25221	233	158
426	76863	397	311	474	3035	77	59
427	27906	258	159	475	2839	84	49
428	19609	182	146	476	3363	81	55

1400 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
477	13713	163	111	489	44109	296	231
478	7250	116	94	490	20133	206	126
479	12709	162	100	491	13691	199	91
480	6289	98	88	492	31990	237	186
481	6594	116	89	493	4782	119	65
482	1856	55	44	494	10219	173	89
483	4433	94	70	495	24762	213	174
484	27120	229	159	496	11770	160	97
485	4738	100	71	497	2970	75	62
486	4498	99	61	498	22819	205	144
487	2009	82	43	499	33824	256	185
488	24172	261	166	500	28387	246	162
1400 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	3779	104	71	35	49595	308	228
2	17373	200	109	36	20514	220	127
3	7531	136	76	37	11300	150	106
4	17215	168	143	38	31722	242	179
5	1355	54	36	39	27003	215	176
6	2623	76	47	40	14510	168	115
7	8230	179	66	41	4307	99	67
8	12805	169	101	42	4307	99	67
9	6924	151	61	43	3567	100	49
10	17699	200	134	44	1451	56	41
11	967	46	28	45	16344	174	131
12	4318	82	71	46	6385	114	79
13	3676	85	61	47	20199	201	124
14	8011	118	95	48	6197	127	72
15	9242	136	90	49	51241	373	220
16	14794	166	126	50	2942	93	44
17	45309	334	198	51	6238	124	63
18	12274	155	110	52	17178	208	108
19	26814	254	179	53	22888	263	129
20	12006	177	92	54	7414	119	87
21	2418	73	47	55	26060	246	146
22	21866	230	125	56	12812	162	110
23	11492	176	84	57	67949	348	267
24	53392	306	234	58	151667	569	403
25	4098	91	59	59	19280	245	120
26	3985	108	65	60	5364	138	54
27	1132	48	31	61	20898	198	152
28	72209	402	268	62	19955	190	146
29	49132	320	227	63	33848	239	192
30	5055	94	73	64	71965	359	315
31	80655	388	308	65	42836	310	207
32	22925	271	164	66	9071	124	95
33	46094	329	187	67	3652	79	64
34	95518	426	309	68	2147	74	44

1400 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
69	20391	208	154	117	5106	98	74
70	29153	243	190	118	2853	73	50
71	24218	258	141	119	42092	293	228
72	7003	117	82	120	13697	159	110
73	4348	112	50	121	23628	229	148
74	4088	83	64	122	2267	74	46
75	3697	85	59	123	26584	251	147
76	8543	147	83	124	51564	296	240
77	6547	108	81	125	5134	92	75
78	3453	94	49	126	6807	112	80
79	54914	304	246	127	4609	112	58
80	8395	137	86	128	9664	143	99
81	34383	264	190	129	9472	157	101
82	3927	85	65	130	4259	91	58
83	3985	93	58	131	4163	96	65
84	14215	180	123	132	27857	235	150
85	6235	109	76	133	36608	251	203
86	3927	91	66	134	9362	140	102
87	2822	79	48	135	5888	105	71
88	15984	181	112	136	3032	77	55
89	9215	117	99	137	3515	91	57
90	21886	201	146	138	2023	77	41
91	69232	384	266	139	20055	197	149
92	14475	166	121	140	21156	229	132
93	10240	143	100	141	90878	411	316
94	62620	363	255	142	1190	54	32
95	5377	102	78	143	1457	58	32
96	45549	323	233	144	3800	80	64
97	3385	102	46	145	15021	192	113
98	45988	297	209	146	6097	118	73
99	1512	52	42	147	2960	83	46
100	9928	152	97	148	5888	107	73
101	17109	201	124	149	21989	292	119
102	13587	209	88	150	33834	241	218
103	30984	238	192	151	2281	73	39
104	3330	95	54	152	4564	92	69
105	6509	127	67	153	3981	92	65
106	8244	122	88	154	12569	190	97
107	4249	91	66	155	13635	177	115
108	2582	69	49	156	2387	64	55
109	13666	174	106	157	102603	400	341
110	3162	81	53	158	11680	135	119
111	6341	105	83	159	11248	154	94
112	12726	165	114	160	26173	234	146
113	1869	64	41	161	6907	137	79
114	1125	49	31	162	55089	367	232
115	14523	180	118	163	4671	90	77
116	6132	110	77	164	926	43	30

1400 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
261	10263	177	105	309	23364	261	130
262	14586	192	131	310	130776	514	372
263	54503	384	212	311	8407	128	90
264	55638	398	199	312	53957	323	264
265	22535	210	155	313	14128	211	131
266	23277	207	172	314	41794	282	209
267	45200	278	236	315	28976	275	156
268	27950	301	149	316	24609	222	161
269	12272	207	95	317	60267	323	265
270	1987	80	44	318	152546	615	352
271	6638	143	65	319	67015	367	292
272	11093	143	122	320	3821	101	57
273	3887	98	61	321	28103	232	174
274	12053	204	99	322	22316	253	131
275	43737	299	206	323	22884	228	161
276	8887	175	79	324	33496	268	191
277	86427	417	303	325	55725	296	245
278	36510	284	186	326	10001	190	88
279	6900	113	87	327	4651	95	66
280	33999	351	147	328	15962	189	116
281	8647	140	89	329	35898	283	207
282	2424	66	51	330	63302	358	233
283	1703	70	40	331	11442	166	107
284	94244	415	334	332	37012	337	160
285	7162	117	89	333	111123	511	349
286	11988	158	112	334	3930	85	63
287	54481	316	214	335	4302	96	66
288	54481	316	214	336	5284	114	69
289	44917	294	219	337	4455	89	72
290	19565	210	142	338	12097	204	115
291	37602	289	197	339	24565	275	127
292	17381	211	104	340	105795	482	342
293	11922	168	85	341	20744	215	120
294	43039	305	193	342	4717	93	75
295	31728	290	189	343	20373	253	107
296	74308	372	315	344	27535	271	135
297	85138	399	325	345	5568	115	63
298	15067	175	135	346	12425	185	90
299	83697	379	322	347	24041	251	172
300	8057	157	81	348	17905	195	135
301	40309	284	183	349	1288	47	36
302	166150	597	436	350	15722	184	146
303	30418	286	170	351	3734	96	56
304	76753	423	270	352	7883	141	84
305	3952	88	75	353	6529	108	83
306	1266	52	37	354	56577	370	246
307	6616	112	85	355	88305	384	327
308	4280	106	58	356	35767	286	170

1400 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
357	191545	590	459	405	86012	424	299
358	23299	215	163	406	89113	404	283
359	33169	292	167	407	60791	354	261
360	4280	99	64	408	10721	150	90
361	15438	166	121	409	4913	116	62
362	12228	155	112	410	2184	66	45
363	6660	127	66	411	24718	232	153
364	3101	84	56	412	25592	202	165
365	5044	104	71	413	30221	234	178
366	2446	90	54	414	20526	197	146
367	71294	377	294	415	3756	99	68
368	304372	710	622	416	32033	287	183
369	30963	280	168	417	30876	290	193
370	39872	331	159	418	40266	279	215
371	26465	232	168	419	72605	359	305
372	21290	221	140	420	136890	558	338
373	100140	455	358	421	13058	211	107
374	6376	111	74	422	34610	268	209
375	33475	255	197	423	16683	163	136
376	60005	406	226	424	42274	293	198
377	105970	515	334	425	4586	102	69
378	56752	333	260	426	106188	406	349
379	10634	143	98	427	35462	288	184
380	46161	337	224	428	33715	264	188
381	54066	331	252	429	29435	239	180
382	8996	185	88	430	108525	506	338
383	29348	225	183	431	6856	123	80
384	21246	234	120	432	27273	236	175
385	44349	297	233	433	39851	280	193
386	23801	233	148	434	27317	211	174
387	36139	295	205	435	4782	100	65
388	6463	142	52	436	79199	417	307
389	26509	256	147	437	24675	231	141
390	61250	336	242	438	45834	318	192
391	11311	168	98	439	19827	200	163
392	7009	115	89	440	23932	221	142
393	57232	350	268	441	21487	216	137
394	124574	575	327	442	30898	292	154
395	11464	151	98	443	2817	77	52
396	27339	256	155	444	5721	112	75
397	25832	243	171	445	13516	206	139
398	33213	241	192	446	35374	249	210
399	123810	460	396	447	56249	302	236
400	22557	231	142	448	16508	197	128
401	42930	263	240	449	6136	116	72
402	28496	245	145	450	8865	147	81
403	21290	206	154	451	28954	252	179
404	3035	82	54	452	90204	443	278

1400 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
453	23321	227	150	477	18823	196	125
454	79527	414	276	478	2336	79	41
455	20766	194	148	479	65028	378	244
456	16442	187	119	480	28780	237	163
457	8582	169	89	481	13451	172	120
458	8713	144	116	482	10285	154	94
459	68914	366	282	483	16115	175	135
460	47712	322	233	484	9914	148	89
461	57494	341	254	485	6551	118	86
462	35200	259	221	486	28234	234	196
463	14062	180	107	487	14543	157	129
464	42253	270	217	488	56249	331	232
465	10241	141	104	489	4891	90	75
466	48520	309	246	490	54568	302	249
467	7206	120	86	491	20941	196	129
468	8865	132	93	492	69438	367	257
469	2511	102	37	493	17796	240	115
470	2861	85	49	494	27317	238	175
471	67298	339	302	495	25876	228	169
472	15460	169	135	496	20373	179	159
473	65552	371	244	497	40571	340	205
474	15045	172	116	498	42667	324	197
475	54896	347	250	499	29981	263	176
476	32164	332	160	500	50790	334	248
1400 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	17795	270	100	23	69781	365	267
2	12030	156	101	24	30470	304	190
3	33011	233	188	25	87548	396	309
4	103080	480	341	26	20230	211	137
5	101509	496	313	27	18206	213	109
6	96698	462	274	28	21900	217	126
7	86958	378	291	29	13179	148	124
8	28659	245	165	30	6488	128	76
9	75326	404	289	31	28405	224	171
10	18728	215	135	32	84465	402	324
11	6608	126	78	33	72202	490	227
12	51358	293	253	34	10329	156	89
13	3954	85	65	35	38330	310	216
14	5490	98	78	36	36656	267	209
15	40213	275	225	37	22058	213	138
16	3611	104	48	38	43172	345	189
17	6677	113	87	39	6221	140	62
18	87630	389	318	40	28354	230	163
19	7579	135	81	41	98285	407	331
20	7428	151	74	42	16896	205	119
21	7387	112	93	43	10340	138	99
22	14914	177	132	44	25703	243	161

1400 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
45	81660	431	281	93	31118	266	174
46	95631	423	337	94	20113	212	150
47	18597	193	141	95	25833	247	156
48	36602	265	201	96	27551	229	170
49	5542	150	65	97	19921	223	140
50	11317	183	100	98	51464	314	248
51	6228	114	80	99	33807	257	198
52	42377	296	199	100	51650	292	247
53	4424	94	65	101	5480	129	68
54	15792	199	111	102	8200	128	87
55	25415	284	139	103	39184	307	191
56	92356	438	315	104	25055	228	157
57	5436	99	80	105	76416	393	264
58	32051	291	155	106	2881	87	43
59	68700	406	289	107	1468	55	41
60	9612	138	93	108	5075	120	60
61	3237	92	54	109	192431	590	447
62	45027	317	202	110	82373	410	292
63	67675	374	238	111	14537	220	116
64	58848	323	247	112	35610	254	178
65	60295	341	265	113	171787	576	416
66	73117	406	266	114	29023	231	174
67	54976	365	238	115	23484	223	167
68	9612	131	101	116	41087	260	224
69	110103	443	351	117	5456	99	76
70	31108	247	172	118	43577	359	207
71	49770	299	212	119	5634	96	80
72	50916	317	245	120	60988	397	276
73	16053	175	137	121	23656	246	139
74	17925	176	145	122	42325	274	224
75	21492	203	164	123	75696	424	317
76	7106	120	90	124	34040	282	178
77	44757	304	213	125	5165	107	71
78	62596	338	274	126	2462	72	48
79	46183	302	234	127	40833	318	220
80	62990	343	228	128	19403	204	139
81	5422	113	81	129	62558	341	264
82	23450	188	175	130	60748	334	256
83	7154	159	84	131	47277	317	231
84	9187	155	91	132	6142	117	77
85	11259	193	106	133	56039	297	266
86	5360	114	68	134	43453	298	200
87	20782	185	149	135	22980	222	151
88	9012	132	97	136	47140	496	213
89	36893	249	190	137	23296	224	131
90	34270	239	209	138	36221	299	181
91	9352	137	97	139	115628	508	339
92	9222	150	94	140	52308	346	212

1400 C 6h							
141	54122	340	243	189	227058	681	515
142	41365	284	207	190	13491	164	116
143	18100	213	142	191	16811	176	125
144	16485	185	127	192	16296	167	128
145	14468	178	117	193	44314	365	211
146	56533	355	252	194	135658	520	367
147	24877	256	118	195	57541	308	253
148	52812	322	235	196	53611	308	240
149	78477	421	276	197	28645	275	153
150	32737	241	194	198	34167	275	173
151	22068	265	135	199	96529	487	316
152	14949	164	131	200	32641	263	201
153	14702	177	108	201	6461	124	73
154	18587	189	143	202	11704	159	99
155	10758	135	105	203	11907	161	102
156	43110	277	221	204	5206	102	78
157	43254	319	195	205	8018	130	81
158	95511	464	315	206	14108	191	119
159	84938	411	303	207	142380	550	369
160	31742	265	181	208	64235	343	275
161	55086	338	239	209	17781	185	133
162	36485	277	214	210	23834	231	151
163	38649	299	191	211	41797	307	180
164	89016	392	314	212	5487	99	79
165	54458	321	251	213	4414	100	65
166	77819	406	279	214	17373	214	138
167	108042	472	327	215	11502	138	113
168	28368	239	157	216	7582	166	59
169	51091	321	236	217	28028	230	176
170	33488	271	179	218	86276	431	284
171	58254	336	250	219	72474	410	256
172	13471	159	106	220	4258	83	66
173	19455	210	145	221	22622	237	125
174	24492	200	152	222	90707	492	282
175	26650	209	174	223	84090	422	280
176	44036	305	198	224	80378	380	302
177	63560	425	210	225	24959	244	147
178	17551	217	113	226	151563	551	365
179	48957	290	218	227	40047	305	211
180	26457	216	176	228	3778	88	65
181	6396	127	75	229	28605	260	151
182	12558	150	112	230	116167	447	351
183	57510	348	263	231	16093	194	107
184	19928	202	143	232	67211	331	269
185	6787	114	76	233	151804	560	392
186	14767	178	127	234	18517	201	134
187	6300	133	77	235	18517	201	134
188	16694	170	129	236	1550	54	41
141	54122	340	243	189	227058	681	515

1400 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
237	49568	319	211	285	15918	225	91
238	3319	79	61	286	81295	499	312
239	12774	144	124	287	78959	393	296
240	73107	373	259	288	56643	376	266
241	18277	196	124	289	2926	82	57
242	29195	231	167	290	131605	535	378
243	82518	397	294	291	45572	309	204
244	158202	525	438	292	29522	227	168
245	18561	194	142	293	8101	130	82
246	24303	224	159	294	13953	186	116
247	16399	192	121	295	60376	347	255
248	41008	273	194	296	6354	100	81
249	101275	467	321	297	19631	180	144
250	153944	573	361	298	47319	304	222
251	83392	397	286	299	136235	527	392
252	85575	454	263	300	38475	328	209
253	50310	305	237	301	68368	359	249
254	39807	313	214	302	68696	389	271
255	94441	430	312	303	92497	439	312
256	10263	154	90	304	32230	336	134
257	33999	279	187	305	15656	202	133
258	24784	207	161	306	30527	291	156
259	116560	448	375	307	41729	308	177
260	23998	269	111	308	5787	111	66
261	87016	408	298	309	136344	496	414
262	43017	281	220	310	99747	474	332
263	45856	303	216	311	169294	582	439
264	18582	215	137	312	84964	456	252
265	63171	368	246	313	41532	284	191
266	17381	192	138	314	14084	165	139
267	48913	319	212	315	10416	167	111
268	45812	361	219	316	6747	128	70
269	42558	276	216	317	8123	117	95
270	8647	136	92	318	31815	266	181
271	5503	120	70	319	83370	362	315
272	81055	375	319	320	8603	127	93
273	28802	245	168	321	9171	129	94
274	43803	285	221	322	38628	276	224
275	20679	205	154	323	43410	286	219
276	42078	261	231	324	22054	220	139
277	13516	166	107	325	32579	327	131
278	33758	267	163	326	66884	358	284
279	24325	224	165	327	31444	274	187
280	10831	154	96	328	99113	432	322
281	100227	415	333	329	57800	317	266
282	14608	159	125	330	48148	331	208
283	67517	447	233	331	72255	397	257
284	30155	246	183	332	29544	257	175

1400 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
333	18408	219	133	381	62538	426	249
334	22840	212	146	382	12971	172	108
335	26269	217	171	383	23932	249	140
336	7119	118	79	384	7708	111	86
337	23496	225	152	385	36226	279	199
338	8123	125	92	386	27819	257	178
339	31837	245	194	387	126387	444	393
340	62080	344	254	388	29479	236	173
341	65770	368	258	389	5306	132	56
342	138964	532	407	390	39545	294	186
343	91405	409	315	391	15897	205	112
344	73325	473	236	392	32557	239	184
345	63848	373	243	393	98458	413	331
346	100467	476	301	394	63848	329	266
347	42471	300	203	395	2686	74	54
348	51642	386	207	396	80335	390	298
349	10787	168	97	397	20155	216	124
350	115600	485	351	398	104267	448	346
351	66578	426	236	399	82584	412	265
352	81426	400	277	400	32252	331	146
353	35724	270	207	401	80815	374	284
354	32710	246	191	402	29610	284	153
355	27011	254	138	403	46467	311	218
356	16639	195	126	404	23386	220	148
357	58302	325	267	405	16836	177	147
358	57232	351	257	406	17840	181	136
359	77802	385	293	407	35287	325	158
360	16486	172	121	408	48432	280	241
361	11289	185	93	409	74701	350	285
362	77758	407	291	410	37864	256	224
363	38562	253	222	411	90139	461	300
364	174710	508	465	412	51839	365	207
365	46139	371	186	413	43606	332	169
366	32405	272	195	414	41445	282	216
367	96843	506	321	415	26356	213	158
368	20897	232	138	416	20919	204	153
369	30701	331	150	417	27164	229	168
370	21858	219	119	418	47690	331	218
371	76360	349	301	419	7140	139	65
372	8975	141	88	420	118307	457	353
373	68499	368	311	421	97607	434	331
374	25635	256	161	422	33169	254	178
375	49022	357	174	423	23255	214	162
376	10481	168	86	424	21421	201	139
377	95292	408	325	425	36641	267	192
378	116014	508	335	426	16006	166	136
379	41226	265	233	427	44982	291	204
380	44851	313	199	428	64023	323	287

1400 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
429	31881	280	181	465	97214	445	307
430	44524	296	213	466	18473	196	136
431	43825	334	192	467	35178	395	177
432	11202	184	96	468	79286	440	278
433	115054	436	367	469	33191	225	195
434	31815	262	175	470	26531	246	159
435	44655	312	221	471	44742	290	229
436	67277	432	245	472	10852	141	111
437	108896	444	335	473	85400	378	323
438	2992	92	50	474	48476	318	242
439	24675	203	168	475	25046	235	168
440	45856	322	193	476	26159	203	178
441	36117	250	197	477	9324	125	103
442	12730	183	104	478	4324	97	67
443	59809	345	253	479	34304	272	165
444	45484	285	242	480	26880	266	144
445	97716	445	306	481	34348	273	180
446	38606	292	184	482	45550	298	253
447	52821	305	239	483	62778	341	264
448	15045	168	122	484	35680	276	177
449	36270	284	176	485	9302	147	100
450	16574	177	132	486	26902	237	168
451	77671	461	285	487	60071	355	227
452	31378	273	157	488	78544	392	327
453	19521	213	158	489	46969	292	219
454	34566	248	196	490	6463	109	83
455	39960	256	215	491	89178	423	284
456	5241	107	63	492	27339	229	160
457	99943	452	352	493	39807	269	215
458	88217	466	277	494	20286	245	126
459	16792	163	141	495	22993	230	137
460	67844	349	280	496	90597	449	303
461	70377	474	243	497	58346	368	238
462	77692	436	294	498	38278	324	172
463	62451	395	231	499	52428	291	256
464	29566	261	149	500	15984	187	114
1500 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	9609	157	86	11	1852	84	37
2	7325	127	73	12	19636	224	127
3	6989	131	85	13	31982	275	180
4	2740	86	40	14	46591	311	216
5	16766	180	132	15	43244	283	222
6	3347	98	44	16	46245	291	235
7	1701	58	46	17	1914	71	37
8	5082	98	62	18	1893	66	44
9	4386	92	72	19	3388	97	60
10	9897	142	106	20	1619	71	37

1500 C 0h							
№	S, м2	Dmax, мм	Dmin, мм	№	S, м2	Dmax, мм	Dmin, мм
21	9897	142	106	69	53851	327	230
22	1852	84	37	70	42473	304	209
23	19636	224	127	71	10473	142	113
24	31982	275	180	72	23059	216	140
25	46591	311	216	73	9228	147	84
26	43244	283	222	74	5809	119	84
27	46245	291	235	75	3422	88	55
28	1914	71	37	76	1859	72	34
29	1893	66	44	77	11406	141	119
30	3388	97	60	78	5638	112	66
31	1619	71	37	79	5418	110	69
32	1550	61	36	80	1927	63	39
33	8618	147	84	81	1653	59	38
34	30682	259	167	82	5086	100	72
35	49702	286	233	83	3855	83	63
36	85686	393	291	84	31334	266	172
37	16602	183	132	85	60881	350	252
38	92936	411	345	86	36300	294	197
39	3851	85	65	87	49582	313	207
40	2740	96	35	88	68560	397	273
41	38148	286	179	89	39081	287	180
42	74180	373	280	90	94252	482	283
43	76708	343	300	91	9119	130	93
44	26533	202	168	92	3008	96	51
45	17644	187	140	93	5957	117	73
46	47562	339	203	94	27771	269	203
47	36992	277	207	95	53906	387	245
48	30892	265	187	96	49129	301	248
49	9859	141	102	97	27167	246	156
50	69674	372	256	98	69863	425	216
51	8783	188	86	99	8052	185	78
52	10844	167	81	100	45333	287	224
53	34746	276	186	101	3203	100	45
54	16831	279	113	102	7075	124	89
55	66097	324	277	103	99702	432	335
56	13124	150	120	104	8340	150	80
57	55689	344	230	105	20305	212	156
58	14266	229	94	106	62843	426	222
59	775	39	27	107	61341	333	253
60	6684	121	70	108	64976	428	206
61	2819	84	54	109	55120	361	214
62	45333	282	221	110	8868	128	98
63	2058	91	33	111	87888	439	275
64	3519	95	58	112	5295	164	61
65	6893	162	74	113	21872	254	118
66	27860	236	166	114	113409	484	314
67	15336	183	118	115	82051	385	298
68	30072	296	145	116	12877	169	120

1500 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
117	22016	190	168	165	20051	261	114
118	21310	200	135	166	35449	273	197
119	13110	154	117	167	27582	271	136
120	14990	164	139	168	6231	104	79
121	17442	231	108	169	32260	263	183
122	10316	136	112	170	16687	225	139
123	45178	313	212	171	86780	486	291
124	47503	376	225	172	3933	100	53
125	11276	142	121	173	15158	199	121
126	12702	192	93	174	9444	130	104
127	100936	436	358	175	21331	219	149
128	47130	315	213	176	2263	75	43
129	19623	195	143	177	5357	100	77
130	63906	345	245	178	6029	100	83
131	32654	302	151	179	3855	83	60
132	76252	350	290	180	1217	60	30
133	1828	69	42	181	4297	125	56
134	35826	268	198	182	37840	277	207
135	1708	67	35	183	7469	184	63
136	17483	196	132	184	11416	147	112
137	21999	197	152	185	5813	101	79
138	8933	131	95	186	1272	54	39
139	22836	219	148	187	2593	73	44
140	68728	378	282	188	9640	156	92
141	14842	181	118	189	3107	105	45
142	14475	194	111	190	74506	374	283
143	5741	104	77	191	11505	153	111
144	7085	143	82	192	15062	191	113
145	5192	102	81	193	9750	141	110
146	11797	148	118	194	3992	94	58
147	1327	52	37	195	51228	291	249
148	1557	61	42	196	1571	65	31
149	2359	76	41	197	43491	323	215
150	2977	75	61	198	66320	384	280
151	9777	153	111	199	2791	78	55
152	8330	128	97	200	81163	406	271
153	6169	107	78	201	60319	372	253
154	3076	85	51	202	2136	67	49
155	1180	50	33	203	81279	390	266
156	4170	83	70	204	82260	391	299
157	2431	61	51	205	6193	138	68
158	2123	84	44	206	3831	88	60
159	1451	51	37	207	4698	108	65
160	8203	125	91	208	91097	418	342
161	18076	219	118	209	66128	382	231
162	11063	229	82	210	46265	282	233
163	20830	239	141	211	3230	78	53
164	16934	177	145	212	1046	59	31

1500 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
213	5223	107	64	261	5743	105	73
214	6303	110	81	262	5306	116	60
215	1190	49	35	263	190344	585	453
216	2733	73	51	264	11988	144	109
217	1794	69	46	265	29719	246	166
218	1770	69	38	266	42886	301	209
219	4595	86	72	267	85335	404	288
220	6073	113	94	268	15853	187	117
221	68467	402	261	269	76732	418	290
222	28477	254	146	270	18757	187	136
223	1365	59	31	271	74046	411	272
224	140590	513	388	272	21203	218	163
225	2819	78	47	273	39021	260	196
226	48800	314	222	274	55573	347	223
227	47894	293	211	275	130797	478	355
228	63189	323	284	276	35440	265	180
229	74578	389	283	277	63324	378	214
230	16485	165	135	278	91777	435	322
231	49307	387	203	279	34828	240	199
232	30007	229	182	280	35200	378	154
233	21999	219	129	281	21770	222	142
234	80333	386	296	282	57778	322	266
235	5219	96	76	283	32208	228	181
236	42311	316	199	284	19369	195	140
237	30171	290	207	285	23845	216	149
238	10542	161	101	286	43235	280	221
239	3601	89	55	287	30505	274	176
240	36512	280	197	288	7250	128	91
241	25876	237	142	289	57210	353	227
242	44414	347	222	290	51926	343	234
243	35156	278	188	291	163595	560	420
244	69438	355	287	292	13888	178	87
245	82540	396	323	293	18692	199	127
246	37252	261	203	294	78129	456	285
247	20897	210	135	295	49415	285	237
248	260066	721	515	296	20919	224	140
249	93502	406	326	297	20089	223	145
250	25111	202	165	298	9346	125	103
251	4913	95	65	299	4476	110	57
252	5874	122	75	300	13997	174	121
253	50332	335	226	301	113613	496	338
254	38388	274	213	302	30286	251	175
255	25330	236	149	303	43716	266	225
256	67888	432	268	304	155079	540	421
257	11486	146	118	305	8844	137	101
258	4476	87	68	306	23364	254	129
259	92978	408	307	307	16006	177	123
260	72212	356	267	308	64416	335	273

1500 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
309	21399	246	119	357	88501	499	276
310	85859	406	299	358	47253	306	231
311	173116	615	447	359	25854	267	128
312	72168	352	287	360	6289	130	66
313	21006	209	152	361	21487	266	120
314	56752	304	270	362	5437	113	72
315	34501	246	197	363	87191	461	271
316	15940	195	109	364	70858	400	294
317	24849	241	135	365	97978	430	302
318	29631	244	169	366	31837	240	191
319	42864	260	226	367	10197	175	82
320	52363	314	237	368	11508	147	105
321	36532	291	173	369	14106	157	126
322	8320	125	90	370	28780	225	182
323	65770	341	284	371	20482	213	131
324	46751	272	241	372	67211	395	246
325	11617	150	118	373	51991	298	245
326	25417	212	169	374	58280	323	261
327	41794	270	218	375	19456	205	140
328	95292	439	293	376	16508	181	117
329	246965	677	536	377	40680	281	228
330	7424	114	89	378	11595	160	117
331	90292	408	338	379	34304	252	182
332	3668	89	60	380	5372	99	79
333	49873	301	232	381	36575	289	189
334	22688	198	153	382	172308	652	369
335	71818	352	286	383	59394	353	199
336	34632	294	199	384	150690	657	402
337	40790	324	182	385	86296	391	291
338	18866	181	155	386	66971	367	291
339	49065	315	213	387	120447	522	382
340	47974	372	192	388	55179	378	213
341	99616	432	327	389	18299	202	138
342	58499	312	259	390	20329	195	155
343	20613	201	137	391	137021	556	421
344	25679	227	138	392	125011	569	339
345	69307	421	258	393	71709	560	246
346	43585	293	203	394	102847	438	339
347	99397	446	319	395	91755	485	287
348	178182	661	395	396	83544	494	232
349	27688	276	143	397	72081	358	260
350	34719	248	187	398	4651	108	69
351	4367	87	67	399	43737	289	223
352	48498	332	227	400	90794	440	296
353	107848	439	400	401	9411	133	94
354	161892	597	431	402	7664	152	75
355	75967	451	265	403	45790	331	223
356	40331	291	184	404	100795	434	319

1500 C 0h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
405	71360	402	257	453	75116	396	268
406	4345	102	62	454	44043	311	186
407	129334	486	403	455	8320	128	89
408	13560	154	122	456	22251	247	137
409	38824	273	204	457	221351	668	526
410	32776	263	193	458	62211	362	256
411	19652	216	133	459	47231	329	217
412	27994	239	173	460	3101	85	49
413	34326	283	190	461	3013	86	55
414	45462	313	198	462	59656	339	234
415	168399	660	389	463	35680	248	205
416	58957	373	230	464	62866	358	270
417	151913	584	376	465	66010	321	294
418	92257	413	361	466	9673	168	72
419	64918	437	235	467	31073	293	164
420	2839	83	53	468	225151	708	449
421	4171	91	68	469	17469	168	146
422	6507	117	81	470	33627	258	194
423	17098	196	120	471	22382	199	153
424	112259	442	339	472	4979	108	69
425	184907	678	464	473	35855	253	194
426	35440	265	190	474	6311	108	86
427	39872	266	226	475	70443	356	306
428	96384	427	318	476	4193	99	61
429	17665	197	135	477	35003	297	171
430	18342	204	140	478	4848	112	72
431	14696	200	130	479	9280	132	93
432	58564	335	239	480	18888	183	155
433	9564	142	84	481	21574	227	141
434	37776	273	194	482	65923	331	251
435	15722	170	129	483	27120	239	155
436	40855	337	186	484	18888	229	121
437	88283	439	285	485	59416	307	267
438	2293	64	46	486	97388	443	326
439	34654	259	196	487	13713	204	95
440	71098	377	243	488	12840	198	94
441	41204	283	210	489	10241	151	86
442	8778	131	87	490	39960	314	171
443	14565	197	104	491	69242	381	291
444	32557	260	172	492	21421	226	124
445	3057	94	54	493	172723	615	418
446	23212	222	129	494	2708	76	48
447	22600	205	169	495	69111	432	249
448	13691	169	117	496	72648	377	276
449	102826	466	363	497	40768	291	191
450	2511	83	62	498	8101	134	96
451	18015	229	110	499	6180	122	81
452	22054	217	160	500	6966	112	79

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	1967	191	139	49	880	163	84
2	22399	734	446	50	8879	405	305
3	17812	631	438	51	1974	234	149
4	3647	270	211	52	22122	603	503
5	3140	237	186	53	10317	469	312
6	3452	254	191	54	5306	312	238
7	2566	278	115	55	17146	576	434
8	6509	378	238	56	2533	228	159
9	10551	438	369	57	9654	425	341
10	4714	292	220	58	9542	428	323
11	15062	544	393	59	507	105	76
12	13241	515	353	60	12281	520	365
13	413	108	60	61	3998	286	197
14	7926	394	254	62	539	113	75
15	9630	405	333	63	13233	550	328
16	12691	502	377	64	6332	354	228
17	8363	464	269	65	23303	634	506
18	17148	555	431	66	16515	531	438
19	18491	623	407	67	6819	473	230
20	7520	379	281	68	7512	341	288
21	19056	600	464	69	29151	689	591
22	843	135	91	70	5356	300	236
23	42355	812	704	71	2732	253	167
24	9145	403	333	72	4747	306	182
25	10951	479	365	73	20305	616	502
26	5998	361	261	74	1817	191	148
27	1007	162	101	75	2467	206	175
28	7097	379	247	76	10510	433	314
29	22847	624	513	77	8536	426	311
30	7422	408	293	78	7103	387	242
31	1553	179	118	79	23790	604	542
32	6723	337	260	80	3976	299	168
33	2505	211	164	81	8632	446	340
34	1991	201	160	82	17080	570	416
35	5811	457	212	83	2138	218	146
36	7647	364	297	84	4627	273	224
37	3040	253	172	85	10765	448	295
38	5634	355	231	86	19639	576	488
39	2166	210	152	87	15742	552	454
40	12418	458	382	88	9047	422	289
41	7309	463	209	89	2972	259	166
42	12767	475	381	90	12396	490	342
43	36588	853	660	91	7682	375	287
44	17606	565	435	92	1354	248	68
45	3496	247	202	93	5179	327	249
46	7060	418	245	94	3463	396	177
47	4813	340	179	95	1013	158	82
48	6090	372	268	96	11567	477	361

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
97	8756	389	312	145	19473	632	466
98	22321	628	502	146	18565	561	473
99	1950	179	149	147	3896	248	202
100	1491	189	130	148	11909	459	386
101	34835	776	656	149	1199	158	96
102	10905	555	266	150	32571	885	510
103	2782	224	164	151	4762	358	236
104	3018	276	198	152	1644	170	135
105	393	104	61	153	657	107	79
106	11497	477	360	154	8680	404	309
107	6905	433	233	155	5566	330	249
108	2721	285	160	156	6090	357	241
109	35394	798	621	157	3070	258	168
110	1428	189	102	158	4195	261	234
111	5695	330	220	159	2306	213	184
112	13357	470	400	160	4079	395	155
113	4620	346	165	161	10809	440	363
114	18043	600	461	162	6697	400	275
115	4922	307	214	163	4828	325	206
116	5828	345	259	164	11237	443	315
117	814	125	92	165	18997	583	457
118	679	141	76	166	8704	410	317
119	9772	471	296	167	3778	286	188
120	9689	439	318	168	7975	440	251
121	28954	800	559	169	23629	730	488
122	3906	311	178	170	5717	307	238
123	1387	172	121	171	1965	198	164
124	21709	606	516	172	14554	515	376
125	27291	698	567	173	2369	224	145
126	31463	782	624	174	8623	429	272
127	10451	506	342	175	14444	500	396
128	24037	740	549	176	5055	293	256
129	3577	268	181	177	1618	221	120
130	3496	250	206	178	1791	210	112
131	8961	456	289	179	1280	198	88
132	4053	280	203	180	5367	335	209
133	7774	416	278	181	1773	178	136
134	6520	350	290	182	16849	541	412
135	5889	320	270	183	3627	309	160
136	4042	300	181	184	3725	270	174
137	6269	395	215	185	21371	604	472
138	13075	504	368	186	946	163	80
139	17877	625	462	187	8599	411	285
140	24269	635	516	188	1142	178	103
141	17285	546	468	189	10446	432	309
142	2074	214	128	190	19744	624	443
143	5784	326	226	191	6660	415	243
144	5629	440	251	192	21017	634	452

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
193	8407	404	303	241	137217	502	370
194	5575	314	250	242	54110	326	208
195	3979	278	199	243	54437	341	203
196	5516	293	253	244	63324	392	215
197	4444	325	228	245	97738	411	330
198	7861	482	286	246	44240	323	228
199	6108	369	240	247	55944	334	243
200	5295	311	229	248	94986	420	307
201	34396	794	598	249	123504	515	400
202	1074	140	92	250	198205	577	471
203	3974	358	170	251	119748	509	314
204	16580	599	510	252	164403	535	450
205	3103	245	215	253	37427	259	204
206	21148	647	440	254	208992	670	469
207	3754	383	162	255	38824	283	168
208	12200	464	344	256	235785	632	559
209	19724	567	475	257	20744	231	128
210	1832	204	152	258	148637	557	382
211	5116	304	245	259	23517	253	105
212	2103	241	137	260	31553	281	167
213	2590	249	152	261	103153	455	348
214	4518	296	213	262	103786	435	335
215	2319	262	125	263	113569	575	309
216	15047	567	372	264	9804	132	107
217	14073	528	368	265	116691	493	351
218	9001	429	296	266	17316	199	122
219	13263	451	396	267	43999	285	226
220	15484	577	426	268	233033	599	562
221	6771	340	274	269	61621	333	269
222	15239	585	335	270	102105	421	333
223	19196	586	484	271	371015	836	639
224	7774	387	279	272	61053	383	265
225	3721	242	214	273	18517	198	119
226	10927	453	347	274	24740	230	173
227	13556	539	373	275	15525	168	135
228	15333	515	447	276	4127	92	69
229	1638	270	99	277	63630	331	269
230	4059	264	205	278	116997	463	365
231	12663	493	409	279	34828	292	166
232	3502	276	190	280	43148	284	207
233	4765	399	227	281	108547	466	338
234	10114	403	345	282	28256	238	166
235	32966	899	535	283	125666	496	361
236	8822	512	270	284	29806	273	159
237	1563	188	134	285	18473	214	134
238	9667	455	266	286	44021	326	216
239	2441	212	163	287	20089	218	135
240	70727	414	246	288	27470	226	152

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
289	107608	454	327	337	147961	498	403
290	43781	284	222	338	237532	604	550
291	97716	416	340	339	77146	444	270
292	89593	395	313	340	90597	444	309
293	93480	378	325	341	79941	461	270
294	50747	327	222	342	190148	664	470
295	8494	184	87	343	15569	176	118
296	67823	339	278	344	52537	310	239
297	175561	588	408	345	75749	413	249
298	45441	302	220	346	67779	398	242
299	21639	236	136	347	36553	323	163
300	8079	121	84	348	144729	554	391
301	10176	170	85	349	112783	446	359
302	46969	465	214	350	301882	777	544
303	61818	378	218	351	65945	393	237
304	30570	265	185	352	11726	240	75
305	71862	365	273	353	227509	626	494
306	55420	306	264	354	11136	215	70
307	102716	461	307	355	141999	506	355
308	15373	171	132	356	139925	549	339
309	115927	437	347	357	83282	406	298
310	52799	339	224	358	30680	262	171
311	78085	428	319	359	159686	512	429
312	224299	815	503	360	90685	452	278
313	99004	432	316	361	47690	285	234
314	127544	534	352	362	13080	147	122
315	33365	269	183	363	96340	408	341
316	272273	666	551	364	16530	181	118
317	11682	149	114	365	188750	566	455
318	46751	301	234	366	28889	247	156
319	237379	806	476	367	7381	133	89
320	279915	774	535	368	64089	369	261
321	115796	531	359	369	10634	157	88
322	51991	300	222	370	9477	159	99
323	30789	241	192	371	132435	454	395
324	2948	88	51	372	16988	202	115
325	464626	882	775	373	145821	501	400
326	116757	461	349	374	68041	404	237
327	265547	680	569	375	80728	390	295
328	14346	194	116	376	99769	415	337
329	311315	957	541	377	68958	363	266
330	81819	461	270	378	44895	291	224
331	65355	332	276	379	17403	189	113
332	43759	288	219	380	56490	317	253
333	87191	423	307	381	38540	262	217
334	30701	277	189	382	40833	328	203
335	133330	518	343	383	8887	170	75
336	48083	312	214	384	147677	583	364

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
385	271072	724	533	433	232531	672	531
386	82387	403	265	434	103328	470	296
387	214997	624	488	435	24391	241	146
388	27863	309	172	436	127391	582	355
389	127282	523	372	437	88589	450	276
390	88589	448	283	438	57298	344	262
391	123679	472	373	439	230238	655	440
392	31968	272	135	440	59634	567	159
393	44982	332	198	441	18844	204	129
394	3799	82	58	442	50441	330	202
395	25788	245	144	443	96843	395	345
396	119312	435	377	444	206459	556	482
397	51860	370	219	445	202398	604	479
398	23146	218	144	446	74745	394	301
399	91362	430	335	447	149358	533	425
400	64984	337	268	448	51577	315	237
401	161630	550	417	449	157503	541	419
402	102149	520	307	450	248559	647	512
403	170888	550	461	451	92475	481	313
404	101188	447	351	452	78151	368	288
405	16683	192	130	453	22360	203	154
406	37929	364	222	454	195279	603	430
407	33016	245	182	455	19827	212	115
408	88916	405	313	456	205389	611	454
409	42580	292	206	457	152240	521	427
410	90270	479	306	458	176522	587	431
411	173661	592	413	459	58673	307	242
412	206263	624	458	460	105031	469	342
413	108241	434	322	461	159359	673	316
414	105883	430	355	462	38016	270	212
415	98087	433	315	463	100445	522	294
416	17403	197	103	464	46270	349	235
417	103000	421	352	465	79592	368	304
418	24849	298	168	466	81841	471	280
419	72146	423	280	467	80640	444	263
420	111211	542	299	468	282601	722	529
421	97738	395	331	469	45222	350	199
422	163115	567	385	470	132239	494	398
423	193860	609	461	471	161914	577	431
424	40331	270	199	472	159839	608	382
425	41991	282	188	473	144772	495	419
426	19609	176	146	474	55551	413	209
427	101166	450	362	475	38322	264	211
428	107913	555	294	476	144227	554	373
429	13538	166	129	477	103088	422	351
430	99004	404	329	478	72605	410	262
431	134029	461	384	479	105883	412	349
432	56009	292	253	480	20417	195	144

1500 C 2h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
481	240436	653	542	491	53323	302	260
482	197616	567	490	492	150013	556	365
483	31771	228	188	493	129313	490	372
484	119050	450	352	494	88283	423	295
485	62298	358	233	495	45353	337	235
486	74679	483	255	496	111997	447	340
487	106363	460	305	497	45310	318	204
488	153725	587	371	498	76775	421	249
489	105861	475	334	499	38890	319	181
490	21181	232	118	500	266770	719	490
1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	236200	692	515	37	108285	485	336
2	20482	226	119	38	118373	505	333
3	220107	674	457	39	144598	486	394
4	53804	400	232	40	259520	800	456
5	61839	380	260	41	87497	523	269
6	17796	228	120	42	354529	817	629
7	120687	502	324	43	163071	626	421
8	220325	647	511	44	255175	725	544
9	309154	780	563	45	92650	401	345
10	90794	396	315	46	35593	341	199
11	12621	193	92	47	427461	924	693
12	30046	244	167	48	271028	747	489
13	52516	309	224	49	23627	238	168
14	541401	984	785	50	140318	484	416
15	105053	463	348	51	107193	454	323
16	116473	456	331	52	94048	393	313
17	629924	1072	849	53	75683	378	303
18	249214	694	508	54	76491	456	244
19	134662	530	404	55	123417	452	356
20	131693	522	359	56	229736	646	496
21	9695	127	106	57	7271	168	89
22	214124	661	473	58	241462	717	536
23	68652	376	262	59	55223	357	253
24	50725	320	205	60	54437	323	240
25	179819	630	445	61	323740	753	611
26	71731	385	248	62	142960	475	415
27	107761	414	356	63	127063	491	395
28	86208	477	252	64	276312	693	537
29	38759	279	204	65	47952	398	188
30	28823	262	164	66	81273	394	304
31	142654	543	415	67	116124	478	376
32	78653	389	287	68	11246	166	103
33	387960	864	665	69	41969	293	180
34	141060	519	387	70	228841	638	441
35	21356	223	163	71	158857	645	438
36	62320	368	227	72	520766	946	751

1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
73	329177	759	642	121	167962	574	412
74	61468	378	217	122	96799	456	313
75	130994	500	360	123	30985	248	178
76	99507	477	322	124	153463	516	432
77	355293	820	616	125	71644	444	232
78	491615	913	743	126	41707	259	220
79	67626	436	238	127	95117	405	350
80	206983	633	471	128	180693	547	424
81	213010	672	443	129	7097	145	64
82	129684	499	374	130	6005	130	75
83	57167	335	236	131	184820	711	399
84	105184	459	296	132	54765	316	238
85	209494	765	430	133	12818	148	117
86	147873	608	388	134	15132	211	100
87	162460	606	453	135	13953	157	116
88	253341	618	562	136	12556	162	107
89	84724	379	294	137	16879	187	146
90	54044	330	231	138	5328	94	80
91	33693	250	192	139	11049	142	108
92	73718	388	293	140	26793	224	185
93	171958	585	436	141	4979	124	73
94	90925	433	332	142	37012	352	160
95	23583	218	157	143	327125	783	582
96	575662	1043	802	144	60595	331	259
97	6289	123	84	145	48476	330	206
98	137152	566	342	146	35789	278	195
99	460542	974	684	147	87060	411	290
100	278212	921	450	148	239213	715	551
101	242838	707	507	149	667962	1123	869
102	342344	812	651	150	113176	541	311
103	59285	345	220	151	23954	212	165
104	94244	487	327	152	183728	573	453
105	568740	1039	700	153	58346	468	231
106	298760	699	606	154	225260	732	462
107	46969	372	232	155	81776	446	253
108	135034	498	409	156	206874	660	397
109	381081	882	656	157	502467	909	753
110	120556	456	387	158	98087	443	341
111	126954	458	384	159	14499	174	115
112	133309	508	373	160	65071	340	257
113	216394	640	473	161	205411	581	502
114	211350	647	417	162	62713	372	229
115	43999	317	178	163	194842	681	416
116	252293	690	511	164	19718	187	151
117	105948	485	323	165	85313	430	266
118	515110	893	809	166	169120	738	402
119	341995	772	576	167	99441	500	356
120	153965	553	380	168	176587	578	426

1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
169	132654	475	377	217	116495	549	319
170	147240	515	405	218	87169	399	279
171	400712	802	719	219	15482	167	135
172	135536	547	342	220	102170	407	356
173	33540	350	118	221	7926	134	83
174	13844	159	124	222	1943	70	38
175	100293	423	341	223	208948	610	458
176	257053	708	539	224	175124	547	434
177	675583	1157	860	225	39370	354	159
178	240851	749	456	226	181937	587	492
179	9346	142	107	227	57822	438	189
180	94135	461	300	228	195497	605	452
181	181937	541	446	229	247620	714	515
182	23889	248	148	230	208490	659	454
183	53280	360	237	231	39196	439	184
184	502358	963	704	232	72321	435	240
185	229081	681	444	233	330007	912	593
186	151978	553	409	234	98961	467	288
187	33737	294	218	235	29369	226	168
188	97432	415	326	236	91231	427	331
189	39196	286	204	237	105642	410	346
190	366014	882	677	238	187789	609	423
191	274260	750	544	239	38519	368	199
192	101363	455	276	240	58608	327	268
193	97301	473	314	241	318805	846	545
194	142742	562	378	242	18037	209	125
195	32033	261	183	243	413289	870	702
196	664403	1267	758	244	103874	520	296
197	295004	712	578	245	344659	789	621
198	18102	242	99	246	62495	336	275
199	128723	498	377	247	170801	599	399
200	60813	385	229	248	46030	327	224
201	177701	553	461	249	79658	367	324
202	231832	620	516	250	99572	504	260
203	13888	240	85	251	34697	277	190
204	13669	164	114	252	144991	494	401
205	10241	187	96	253	175452	582	439
206	282601	720	532	254	69984	486	217
207	82278	477	210	255	192419	585	474
208	408529	823	694	256	44589	281	224
209	138768	612	417	257	373417	838	625
210	185737	621	420	258	142807	530	417
211	104070	541	313	259	271989	766	586
212	220565	660	466	260	222858	596	519
213	120229	490	333	261	72059	354	284
214	86208	447	287	262	282383	708	542
215	36837	281	216	263	143353	613	362
216	6354	120	80	264	36422	239	205

1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
265	78107	374	303	313	141213	579	332
266	137064	469	415	314	271072	750	497
267	163901	587	448	315	30505	325	153
268	73937	376	297	316	136104	518	387
269	128789	501	364	317	230828	695	508
270	126015	482	348	318	136824	523	332
271	86842	369	335	319	179164	572	444
272	118766	547	299	320	118591	535	334
273	85182	473	301	321	110184	472	345
274	111494	490	306	322	33715	253	196
275	15220	195	98	323	25701	246	161
276	228928	624	476	324	494563	891	751
277	48913	332	239	325	73587	398	266
278	31313	241	181	326	106560	452	297
279	172286	524	453	327	65486	482	211
280	349878	813	646	328	194624	626	484
281	42012	264	203	329	172220	560	453
282	8341	192	77	330	75400	503	248
283	44567	285	208	331	130252	490	351
284	114661	452	336	332	34763	285	230
285	123504	486	378	333	188139	614	455
286	195170	567	453	334	52450	300	269
287	363875	888	614	335	145930	557	428
288	172613	535	442	336	200476	600	461
289	97498	422	343	337	167045	602	401
290	11988	146	107	338	183772	538	481
291	61861	398	235	339	190388	616	446
292	8691	154	81	340	407896	843	621
293	190475	645	417	341	323609	750	614
294	89484	424	289	342	19237	221	132
295	156346	529	429	343	151367	636	346
296	149991	526	393	344	197768	679	426
297	81907	429	299	345	44829	281	214
298	103088	469	363	346	273124	798	549
299	34610	322	172	347	102957	589	253
300	119355	519	331	348	5634	114	79
301	228994	609	523	349	275876	832	535
302	280439	838	522	350	183247	558	468
303	18757	207	126	351	140798	545	379
304	239803	640	571	352	2140	66	52
305	317888	757	537	353	112433	450	361
306	17534	172	134	354	185431	662	465
307	9280	119	106	355	274303	732	563
308	11289	159	111	356	120753	461	376
309	7774	125	91	357	62626	362	257
310	3974	94	61	358	352760	766	634
311	181610	571	454	359	96995	457	296
312	91580	454	283	360	91100	422	300

1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
361	140908	557	395	409	168202	595	431
362	208512	596	512	410	118853	529	322
363	14237	191	110	411	83675	381	310
364	120928	479	391	412	128592	497	399
365	55005	400	243	413	201437	567	507
366	14346	162	123	414	36663	253	196
367	121714	457	389	415	144030	578	373
368	167089	588	431	416	59219	336	259
369	25614	212	163	417	24151	272	110
370	66578	363	299	418	13691	186	93
371	121495	475	373	419	96843	408	338
372	3516	98	58	420	140471	647	373
373	151891	516	397	421	492729	954	761
374	188510	590	409	422	219430	683	478
375	190541	622	425	423	81885	392	307
376	11158	192	79	424	16093	250	116
377	52865	318	234	425	243034	673	531
378	188292	551	484	426	16879	186	131
379	45157	426	195	427	361276	776	650
380	127282	476	355	428	49327	354	188
381	81776	376	292	429	59132	361	246
382	142087	536	345	430	101275	488	347
383	106450	456	325	431	70203	357	274
384	82846	377	314	432	77518	413	287
385	57319	370	248	433	229824	722	455
386	44393	290	218	434	217857	886	346
387	15198	216	130	435	147196	562	382
388	83348	420	277	436	83959	426	270
389	120010	467	377	437	171041	534	412
390	53891	408	169	438	314503	731	592
391	84243	373	316	439	181915	614	429
392	289501	756	517	440	34435	289	168
393	167242	567	446	441	102433	436	360
394	3144	80	60	442	89222	443	284
395	226221	618	503	443	109267	459	326
396	143462	541	383	444	377915	810	629
397	161018	551	417	445	138091	606	334
398	95248	414	340	446	27011	233	157
399	139685	489	380	447	45441	281	230
400	37099	384	179	448	337038	877	622
401	96668	447	321	449	237947	645	461
402	213381	612	514	450	114704	446	336
403	98327	424	335	451	119377	435	345
404	168639	576	452	452	59066	497	227
405	64482	345	240	453	51511	311	238
406	166696	580	428	454	32012	265	178
407	31029	247	170	455	133112	565	348
408	41532	321	222	456	42536	307	192

1500 C 6h							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
457	65595	406	270	479	99135	431	345
458	105861	467	299	480	333566	784	579
459	114420	536	367	481	199406	623	475
460	146214	526	368	482	52406	355	209
461	40790	283	230	483	114071	524	359
462	190235	608	494	484	140274	531	382
463	93720	412	338	485	85160	509	253
464	100620	423	357	486	40877	285	196
465	91274	396	330	487	336536	773	596
466	30221	294	174	488	7075	136	83
467	193641	577	445	489	253909	639	506
468	342039	837	596	490	206132	705	446
469	129269	498	353	491	56686	310	274
470	138265	541	387	492	140100	517	433
471	247096	695	558	493	204647	640	461
472	114595	500	306	494	96602	440	331
473	157044	563	463	495	282732	807	494
474	217836	609	504	496	314263	766	562
475	391039	795	627	497	69962	367	289
476	158092	613	364	498	192681	627	440
477	143157	518	400	499	178531	630	431
478	79308	422	296	500	56599	317	226
SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
1	19041	189	149	25	7905	121	88
2	25046	223	155	26	19980	212	130
3	41073	319	180	27	7708	123	92
4	15678	189	104	28	32557	248	175
5	6507	101	87	29	17949	172	135
6	29697	240	176	30	65311	366	240
7	6289	100	84	31	14477	159	125
8	16661	178	136	32	21792	219	141
9	15242	223	103	33	22993	219	141
10	21072	202	151	34	36641	274	182
11	30745	242	182	35	75727	405	301
12	7599	122	90	36	17294	188	137
13	38366	309	210	37	14041	161	122
14	21203	204	166	38	14281	178	111
15	31269	235	181	39	14761	172	127
16	22906	253	121	40	21203	194	147
17	15962	164	127	41	22273	203	162
18	24172	220	161	42	10765	142	99
19	4979	120	64	43	11813	174	92
20	26465	224	177	44	24434	231	163
21	3079	79	55	45	8975	128	91
22	5568	100	75	46	19762	207	121
23	12294	162	105	47	37492	287	195
24	18430	195	149	48	23233	227	149

SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
49	4040	95	64	97	20504	201	132
50	44786	306	222	98	5306	109	61
51	31946	278	159	99	115993	576	375
52	32819	300	177	100	27666	237	155
53	8996	150	85	101	44021	292	206
54	8625	137	85	102	32776	244	174
55	44873	286	221	103	11704	178	91
56	23779	193	166	104	32929	281	164
57	19980	189	148	105	24587	232	169
58	34108	285	164	106	36968	282	175
59	32317	285	188	107	12425	179	100
60	17360	203	130	108	10525	168	96
61	41095	266	216	109	22098	204	145
62	20788	219	136	110	2839	72	57
63	28081	212	180	111	19980	255	116
64	9433	130	105	112	10438	145	99
65	18058	207	126	113	22164	193	161
66	57778	341	253	114	16464	203	121
67	41052	302	194	115	22273	208	155
68	32514	267	172	116	78129	361	296
69	41052	290	203	117	42798	281	216
70	12578	158	126	118	9193	173	80
71	11529	160	107	119	12861	153	120
72	43192	269	221	120	8341	114	100
73	6966	131	72	121	6376	115	78
74	16967	173	133	122	47078	354	199
75	40287	262	206	123	6616	138	56
76	19063	196	139	124	40287	269	214
77	15438	171	128	125	32383	275	169
78	61730	377	232	126	44305	287	211
79	68499	372	248	127	28081	225	178
80	33125	233	200	128	10088	135	105
81	11246	136	114	129	6813	129	73
82	8451	153	81	130	11660	156	112
83	28125	222	159	131	18801	189	140
84	39567	285	224	132	30461	244	167
85	9477	127	95	133	13822	156	117
86	58149	336	242	134	8341	127	87
87	16552	170	135	135	3974	92	63
88	7184	151	67	136	20329	183	151
89	54677	300	258	137	24172	209	171
90	22775	200	156	138	15023	155	127
91	9739	125	107	139	37689	275	194
92	19128	200	136	140	18255	169	151
93	4193	121	58	141	12272	164	122
94	56446	310	240	142	10831	138	113
95	13298	166	97	143	53804	330	234
96	15307	161	137	144	11486	150	94

SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
145	20024	186	150	193	26291	257	187
146	27229	280	126	194	22535	220	123
147	33365	251	205	195	31575	237	190
148	7664	125	77	196	18430	178	149
149	28518	269	162	197	29457	231	182
150	15766	191	131	198	24085	222	158
151	61075	354	256	199	15176	171	128
152	49633	403	195	200	11813	141	109
153	11660	138	112	201	30286	239	166
154	37711	273	209	202	29893	233	167
155	7206	110	90	203	12337	180	104
156	19958	222	142	204	39807	249	208
157	25221	205	167	205	14019	183	104
158	22251	206	139	206	33889	276	192
159	49371	318	243	207	66403	330	284
160	18604	214	125	208	38126	274	190
161	12184	155	101	209	8953	130	97
162	3996	89	67	210	10765	129	106
163	23474	218	168	211	26727	226	170
164	50092	359	213	212	25090	218	168
165	16311	202	112	213	21377	218	141
166	77867	423	288	214	16224	194	124
167	20941	198	153	215	73827	372	262
168	11966	146	122	216	19194	225	144
169	15569	209	106	217	43279	293	198
170	9957	140	89	218	26334	204	173
171	4105	112	50	219	16093	183	114
172	8756	135	103	220	13931	172	114
173	20984	200	141	221	15394	200	121
174	25723	235	158	222	27710	220	182
175	18495	194	136	223	16508	178	147
176	26028	263	146	224	27928	221	178
177	76273	457	252	225	15373	172	129
178	73587	382	281	226	9826	154	97
179	13516	171	117	227	11355	148	108
180	9040	125	97	228	53236	323	221
181	7402	166	78	229	8538	128	97
182	20286	188	154	230	22426	199	163
183	14892	180	132	231	14979	169	126
184	12337	189	106	232	43868	282	206
185	63521	381	233	233	43803	264	227
186	11464	137	115	234	19259	222	137
187	11922	160	95	235	40899	270	210
188	24609	223	150	236	19521	184	146
189	27972	246	160	237	10481	131	109
190	11420	158	116	238	5110	91	76
191	22862	218	163	239	66774	385	274
192	80247	369	318	240	45441	297	238

SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
241	41969	272	221	289	16770	173	131
242	9258	134	110	290	57603	370	245
243	21880	271	143	291	37230	245	216
244	35811	281	190	292	46489	276	222
245	10481	146	103	293	42165	274	189
246	26946	224	184	294	45069	277	227
247	26946	224	184	295	4345	95	68
248	12010	185	72	296	51009	360	212
249	24915	245	140	297	20242	195	136
250	14608	171	116	298	18211	183	140
251	15809	179	129	299	26356	218	163
252	30418	223	196	300	26378	228	158
253	27513	258	162	301	65071	341	277
254	10481	155	93	302	12665	179	95
255	43890	291	209	303	15285	191	124
256	29217	238	158	304	28496	238	171
257	32164	256	171	305	10045	152	83
258	33125	252	196	306	56206	357	223
259	15307	191	125	307	32492	254	175
260	30352	251	161	308	3778	90	51
261	26749	220	177	309	37995	287	167
262	9957	142	99	310	38104	247	207
263	42253	280	221	311	18713	205	115
264	16574	184	123	312	35549	246	204
265	17993	183	121	313	31116	254	187
266	13364	181	91	314	12228	150	119
267	11486	138	106	315	44021	294	196
268	8844	140	93	316	26946	227	165
269	17316	180	142	317	17600	172	129
270	13058	164	118	318	17709	173	131
271	12840	161	120	319	40331	287	204
272	17338	195	128	320	14783	171	116
273	23430	238	160	321	32099	255	176
274	20963	194	164	322	80640	435	285
275	6507	104	81	323	9630	203	72
276	7446	125	88	324	12840	163	106
277	5306	108	69	325	3603	79	62
278	32448	277	176	326	7883	136	77
279	14696	153	126	327	21465	202	154
280	8429	131	88	328	4607	107	65
281	20635	205	153	329	29697	246	157
282	5765	101	90	330	54175	309	247
283	34632	244	196	331	27513	217	178
284	46598	283	235	332	3625	95	53
285	23998	236	173	333	7926	118	85
286	34392	273	203	334	36444	267	197
287	40768	257	215	335	17491	181	130
288	24696	214	166	336	24522	226	130

SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
337	18932	240	129	385	48738	309	227
338	46925	336	228	386	45943	324	191
339	71797	367	269	387	30854	240	181
340	41139	283	214	388	15023	172	118
341	8385	138	79	389	13669	173	102
342	26662	226	169	390	8298	137	91
343	6049	105	77	391	12534	178	113
344	21203	190	160	392	3996	95	59
345	13342	152	125	393	22382	236	140
346	29828	245	179	394	33802	235	199
347	22688	210	160	395	14914	167	122
348	28627	240	160	396	9455	135	106
349	34545	258	179	397	34304	290	173
350	14914	171	108	398	35811	240	205
351	5896	126	67	399	11158	146	99
352	46904	275	232	400	64067	415	242
353	25897	223	166	401	54830	368	198
354	29806	227	188	402	23561	238	136
355	41838	293	197	403	14958	157	129
356	16530	178	124	404	6551	124	69
357	21858	261	119	405	5459	134	60
358	32579	230	197	406	60944	320	269
359	52756	309	239	407	30570	238	183
360	34108	266	178	408	13713	163	109
361	25024	196	172	409	12861	176	102
362	52035	304	247	410	60114	303	281
363	30920	259	171	411	30199	227	189
364	27295	221	163	412	19827	226	135
365	35309	287	176	413	77954	432	250
366	6835	109	91	414	17512	170	130
367	11595	136	118	415	23823	243	156
368	37514	308	185	416	16705	189	119
369	32164	263	162	417	11377	154	97
370	40921	323	203	418	5393	105	79
371	30942	234	168	419	13495	172	116
372	66622	388	273	420	24718	208	153
373	12097	151	114	421	105817	454	340
374	5765	117	76	422	6922	116	88
375	70072	352	288	423	30658	239	181
376	14652	191	109	424	43563	270	227
377	47209	293	225	425	39152	254	220
378	26924	257	136	426	29697	246	173
379	14477	186	102	427	10634	139	112
380	19827	193	142	428	33518	258	190
381	7315	137	86	429	20853	191	157
382	30330	251	181	430	36728	263	189
383	47908	295	224	431	9368	146	98
384	32776	291	170	432	5000	99	71

SPS							
№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM	№	S, HM^2	D _{max} , HM	D _{min} , HM
433	34610	296	182	467	20482	184	149
434	4193	98	55	468	8167	131	95
435	22993	215	159	469	64220	360	276
436	12752	177	110	470	59066	356	245
437	10634	165	102	471	32295	265	188
438	44393	297	217	472	30723	224	189
439	13233	154	127	473	28321	239	160
440	8101	136	85	474	5437	102	74
441	26684	231	164	475	5612	112	77
442	6594	129	68	476	21814	234	140
443	77409	366	312	477	35025	292	173
444	16006	166	115	478	16421	176	125
445	45069	330	190	479	15045	203	103
446	37121	250	199	480	10656	132	108
447	7730	139	83	481	21858	212	146
448	32252	237	179	482	18561	204	125
449	24391	207	159	483	60202	346	239
450	15766	162	139	484	27404	254	153
451	11617	147	103	485	40331	278	207
452	9630	128	96	486	16705	172	138
453	45419	305	196	487	27928	226	178
454	15591	158	135	488	121910	491	363
455	49589	344	210	489	26749	236	153
456	35287	304	153	490	127107	509	354
457	18364	192	129	491	11420	170	114
458	29588	244	168	492	32950	219	199
459	67866	357	248	493	60988	360	254
460	12905	165	105	494	21530	231	141
461	13713	156	110	495	48236	286	229
462	7948	124	77	496	27033	211	173
463	7162	121	94	497	13014	159	123
464	31575	287	178	498	11398	146	103
465	32536	243	198	499	8734	131	90
466	16115	164	138	500	7992	113	97