САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиТ
А.А. Попович
06 20 15 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерное моделирование литейных процессов

Кафедра-разработчик Металлургические и литейные технологии

Направление (специальность) подготовки
22.06.01 - Технологии металлов
Код и наименование

Наименование ООП
22.06.01_03 - Литейное производство
Код и наименование

Квалификация (степень) выпускника **Исследователь, преподаватель-исследователь**
Образовательный стандарт **ФГОС**
Форма обучения **Очная**

Соответствует ФГОС ВО
Утверждена
протоколом заседания кафедры
№ 8 от 24.06.2015 г.

Программу разработал:

профессор, доцент, к.т.н. В.М. Голод

1. Цели и планируемые результаты изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование знаний в области компьютерного анализа литейных процессов на основе аппарата математического моделирования, включая знания, умения, навыки и социально-личностные качества, обеспечивающие успешность научно-педагогической деятельности.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

1. Изучение основных принципов и методов численного решения многомерных дифференциальных уравнений.
2. Формирование умений в области применения основных методов компьютерного моделирования и анализа при решении задач теории литейных процессов и проектирования литейной технологии.
3. Овладение основными методами компьютерного моделирования и анализа, позволяющими получать количественные результаты решения прикладных задач теории литейных процессов на основных этапах проектирования и управления литейной технологией.
4. Получение практических навыков работы с программными средствами компьютерного моделирования и анализа литейных процессов.

Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП, на формирование которых ориентировано изучение дисциплины (в соответствии с ФГОС ВО)

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОПК-6	способность и готовность выполнять расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в качестве ведущего исполнителя с применением компьютерных технологий
ПК-5	способность самостоятельно использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, структуры и свойств материалов и изделий из них, планировать и реализовывать исследования и разработки
ПК-7	способность самостоятельно использовать современные физико-химические представления о материалах и технологических процессах при анализе влияния их макро-, мезо- и микро-масштаба на теплофизические, гидродинамические, поверхностные, диффузионные и кристаллизационные явления при формировании отливок

Планируемые результаты изучения дисциплины, обеспечивающие достижение цели изучения дисциплины и её вклад в формирование результатов обучения (компетенций) выпускника ООП (при разработке раздела использован раздел 6 ФГОС ВО):

***знать*:**

- базовые понятия и методы численного решения многомерных дифференциальных уравнений теории функционального анализа;
- базовые модели теории литейных процессов на уровне, необходимом для их применения при решении прикладных задач;

***уметь*:**

- применять методы компьютерного моделирование при исследовании литейных процессов и проектировании литейной технологии;
- получать количественные результаты, ориентированные на решение прикладных задач теории литейных процессов и управления литейной технологией;
- формулировать прикладные задачи для использования аппарата компьютерного моделирования;

***владеть*:**

- навыками разработки компьютерных программ для решения прикладных задач теории литейных процессов и управления литейной технологией;
- навыками исследования литейных процессов и управления качеством отливок на основе синтеза моделей и анализа результатов моделирования..

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Компьютерное моделирование литейных процессов» согласно федеральному учебному плану преподается на 3 году обучения аспиранта. Ее изучение базируется на результатах освоения следующих дисциплин ООП: «Математика», «Моделирование процессов и объектов в металлургии» и «Теория литейных процессов». Результаты изучения дисциплины «Компьютерное моделирование литейных процессов» используются в научно-исследовательской работе аспирантов и выполнении квалификационных работ.

3. Распределение трудоёмкости освоения дисциплины по видам учебной работы и формы текущего контроля и промежуточной аттестации

3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоёмкость , ач	Итого, ач
	3 год	
Лекции (Л)	1	1
Лабораторные занятия (ЛЗ)	-	-
Практические занятия, семинары (ПЗ)	-	-
Контроль самостоятельной работы студентов (КСРА)	6	6
Самостоятельная работа студентов (СРА)	65	65
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСРА)	16	16
Экзамены (Э) (подготовка, сдача)	-	-
Общая трудоемкость освоения дисциплины	в академических часах, ач	72
	в зачётных единицах, зет	2

3.2. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля и промежуточной аттестации	Количество	Итого
	3 год	
Текущий контроль		
Контрольные работы (КРб), шт.	-	-
Коллоквиумы (Кк), шт.	-	-
Расчетно-графические работы (РГР), шт.	-	-
Рефераты (Реф), шт.	-	-
Курсовые проекты (КП), шт.	-	-
Курсовые работы (КР), шт.	-	-
Промежуточная аттестация		
Зачеты, (З), шт.	1	1
Экзамены, (Э), шт.	-	-

4. Содержание и результаты обучения

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщённых результатов обучения (описаны в разд. 1) происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

4.1. Разделы дисциплины и виды учебной работы

	Темы	Л	ПЗ	СРА
1	Системный анализ и моделирование литейных процессов			
1.1	Установочная лекция	1	-	-
1.2	Системный анализ при изучении литейных процессов Принципы декомпозиции сложных систем	-	-	2
1.3	Система литейных процессов. Автомодельность литейных процессов	-	-	5
2	Построение моделей литейных процессов			
2.1	Система моделей для описания процесса формирования отливки	-	-	4
2.2	Методы формирования и алгоритмизация моделей	-	-	6
2.3	Программная реализация численных моделей	-	-	2
3.	Детерминированные модели литейных процессов			
3.1	Структура детерминированных моделей литейных процессов	-	-	2
3.2	Классификация условий теплообмена при литье. Анализ влияния металлургических и технологических факторов на кинетику затвердевания и остывания отливок.	-	-	8
3.3	Моделирование процесса формирования макро-, мезо- и микро-структуры отливок. Анализ влияния металлургических и технологических факторов.	-	-	8
3.4	Анализ гидравлических, усадочных, ликвационных и деформационных процессов при формировании отливок и образовании литейных дефектов	-	-	10
4	Статистические модели литейных процессов	-	-	8
5	Информационное обеспечение моделей			
5.1	Информационное обеспечение моделей методами вычислительной термодинамики	-	-	6
5.2	Экспериментальные методы определения параметров теплообмена и формирования структуры отливок	-	-	4
	Контроль за самостоятельной работой аспирантов, КСРА	-	-	6
	Итого по видам учебной работы, ач			72
	Итого по видам учебной работы, зет			2
	Общая трудоемкость освоения, ач / зет	72/2		

4.2. Содержание разделов и результаты изучения дисциплины

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Системный анализ и моделирование литейных процессов	
Принципы декомпозиции сложных систем. Иерархия структур и процессов в отливке.	Знание приемов выделения иерархических соотношений между процессами. Умение

Система литейных процессов. Автомодельность литейных процессов.	выявить и указать признаки автомодельности литейных процессов.
2. Построение моделей литейных процессов	
Методология и практика построения моделей литейных процессов	Знание методов формирования и алгоритмизация моделей, а также приемов фракционного анализа математических моделей. Умение реализовать программную структуру численных моделей.
3. Детерминированные модели литейных процессов	
Гидродинамические процессы при формировании отливок и их моделирование. Классификация условий теплообмена при литье. Математическое моделирование процесса формирования литой структуры. Анализ усадочных, ликвационных и деформационных процессов в отливках и формах.	Знание приемов решения технологических задач затвердевания и остывания отливок. Умение выявить системное сопряжение моделей тепловых, кристаллизационных и диффузионных процессов. Навыки решения технологических задач моделирования условий формирования литейных дефектов.
4. Статистические модели литейных процессов	
Этапы разработки статистических моделей литейных процессов. Анализ адекватности статистических моделей. Область применения статистических моделей.	Знание приемов и принципов моделирования стохастических систем. Умение использовать методы проверки адекватности статистических моделей. Навыки применения методов моделирования структуры и свойств в задачах синтеза сплавов.
5. Информационное обеспечение моделей	
Методы информационного обеспечения моделей. Термодинамическое моделирование литейных сплавов. Экспериментальные методы определения параметров теплообмена и формирования структуры отливок.	Знание информационных возможностей термодинамического моделирования литейных сплавов. Умение постановки и обработки экспериментов по определению параметров теплообмена при литье. Навыки использования программ вычислительной термодинамики

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

1. Информационные технологии - обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки, объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

2. Проблемное обучение - стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

3. Контекстное обучение - мотивация студентов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением.

4. Индивидуальное обучение - выстраивание студентом собственной образовательной траектории на основе формирования индивидуальной образовательной программы с учетом интересов студента.

5. Междисциплинарное обучение - использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

Виды и содержание учебных занятий

В учебном процессе для достижения определенных результатов обучения и компетенции используются следующие формы организации учебного процесса: установочная лекция, самостоятельная работа, контроль, подготовка сообщений-докладов, консультация, зачет.

1. Установочная лекция - передача учебной информации от преподавателя к студентам с использованием технических средств, направленная на приобретение студентами новых теоретических и фактических знаний.

2. Самостоятельная работа - изучение студентами теоретического материала, оформление конспектов лекций, написание сообщений-докладов, подготовка презентаций, работа в электронной образовательной среде и др. для приобретения новых теоретических и фактических знаний, теоретических и практических умений.

3. Консультация - индивидуальное общение преподавателя со студентом, руководство его деятельностью с целью передачи опыта, углубления теоретических и фактических знаний, приобретенных студентом на лекциях, в результате самостоятельной работы, в процессе написания сообщения-доклада и др.

4. Контроль самостоятельной работы.

В преподавании курса используются:

- самостоятельная работа аспирантов с научно-технической литературой, а также информационными источниками по выбранному профилю аспирантской исследовательской работы для формирования реферативных материалов, подготовки публикаций и тематических презентаций;
- консультации по планированию, формированию и редактированию указанных материалов;

6. Лабораторный практикум

Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия

Практические занятия не предусмотрены

8. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоёмкость, ач
Текущая СРА	
работа с учебной литературой	20
опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	-
самостоятельное изучение разделов дисциплины	20
выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	-
подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	-
подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам	9
подготовка к экзаменам	-
другие виды СРА (указать конкретно)	-

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоёмкость, ач
Итого текущей СРА:	**49**
Творческая проблемно-ориентированная СРА	
выполнение расчётно-графических работ	-
выполнение курсового проекта или курсовой работы	-
поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	10
работа над междисциплинарным проектом	-
исследовательская работа, участие в конференциях, семинарах, олимпиадах	6
анализ данных по заданной теме, выполнение расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных	-
другие виды ТСРА (указать конкретно)	-
Итого творческой СРА:	**16**
Итого СРА:	**65**

9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Адрес сайта курса

http://www.foundry.spb.ru/html/education/aspir.shtml.

9.2. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Голод, Валерий Михайлович. Теория литейных процессов : учеб. пособие / В. М. Голод, К. Д. Савельев ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2011 .– 98 с. : ил. ; 20 см .– Библиогр.: с. 87.

2. Голод В.М., Савельев К.Д. Вычислительная термодинамика в материаловедении. – Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 218 с.

Дополнительная литература

1. Неуструев А.А., Моисеев В.С. Автоматизированное проектирование технологических процессов литья. – М., МГАТУ, 1994. – 256с.

2. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. – М., 2001. – 336 с.

3. Баландин Г.Ф. Теория формирования отливки. – М., МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1998 –360 с.

4. Голод В.М., Корнюшкин О.А. Теория литейной формы. Механика и теплофизика. – СПб., СПбГТУ, 2002. – 108 с.

5. Голод В.М., Денисов В.А. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья. – СПб., ИПЦ СПГУТД, 2007. – 610 с.

6. Голод В.М., Савельев К.Д., Басин А.С. Моделирование и компьютерный анализ кристаллизации многокомпонентных сплавов на основе железа. – СПб., Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 372 с.

7. Голод В.М., Радгударзи Т.А. и др. Компьютерные технологии в моделировании металлургических процессов. Лабораторный практикум. – СПб., СПбГПУ, 2007. – 101 с.

Электронные и Internet-ресурсы:

Российские сетевые ресурсы

1. **iBooks.ru (Айбукс)**

http://ibooks.ru/;

http://elib.spbstu.ru

Коллекция полнотекстовых учебных изданий по естественно-научным, прикладным, гуманитарным и экономическим дисциплинам.

Договор с ООО «Айбукс» № 1-12/14К на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным книгам ЭБС «Айбукс.ру/ibooks.ru» от 08.12.2014. Срок подписки 08.12.2014 – 19.12.2015. Доступ по паролю читателя библиотеки СПбПУ.

2. **Библиографический указатель книг «Политехнический институт - высшей школе»**

http://goo.gl/5GNxA

Собственная реферативная база данных. Свободный доступ.

3. **Распределенная электронная библиотека ЭПОС**

http://arbicon.ru/projects/EPOS/

Электронные библиотеки вузов Российской Федерации, доступные через единый интерфейс поиска. Содержит учебную и учебно-методическую литературу, авторефераты диссертаций, материалы конференций, другие образовательные и научные ресурсы.

Договор о сотрудничестве с НП «АРБИКОН» № С/53-2 от 13.03.2012. Доступ бессрочный.

4. **Электронная библиотека ГОУ «СПбГПУ»**

http://elib.spbstu.ru

Полнотекстовая база данных научных и образовательных ресурсов, в основном созданных авторами-политехниками. Свидетельство о регистрации средства массовой информации № Эл № ФС77-43830 от 08.02.2011. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620135 от 16.02.2011.

5. Сводный каталог периодики библиотек России

http://ucpr.arbicon.ru/

Сводный каталог периодики с указанием библиотек - держателей каждого выпуска периодического издания.

Договор о сотрудничестве НП «АРБИКОН» № С/53-2 от 13.03.2012. Свободный доступ.

Зарубежные сетевые ресурсы

1. **Cambridge Journals Digital Archive**

www.journals.cambridge.org/archives

Архив научных журналов издательства Cambridge University Press. по 2011 г.

Доступ предоставлен консорциумом НЭИКОН, без ограничения сроков.

2. **EBSCO Academic Search Complete**

http://search.ebscohost.com/

Коллекция статей из 9000 журналов по различным дисциплинам с 1887 по 2015 год.
Договор с НП «НЭИКОН» №177/14 Д от 31.12.2014. Доступ до 31.01.2016.

3. **OATD (Open Access Theses and Dissertations)**

http://oatd.org

Полнотекстовая база данных дипломных работ и диссертаций. Свободный доступ.

4. **Science**

http://www.sciencemag.org/journals

Мультидисциплинарный журнал Science издательства American Association for the Advancement of Science (AAAS**)**. Доступны номера с 1997 по 2015 год, а также архив Science Classic Digital Archive с 1880 по 1996 год.

Акт сдачи-приемки работ по доступу к материалам издательства от НП «НЭИКОН» от 01.10.2014 в рамках исполнения госконтракта от 25.02.2014 № 14.596.11.0002 Министерства образования и науки и ГПНТБ России. Доступ до 30.09.2015.

5. **Scopus**

http://www.scopus.com

Крупнейшая в мире база данных рефератов и цитирования, индексирует более 20000 наименований научно-технических и медицинских журналов, 30 000 книг и 5,5 млн. конференций.

Договор с ГПНТБ России № 2/БП/33 от 01.11.2014. Доступ до 31.05.2015.

6. **Springer**

http://link.springer.com/

Предоставляет доступ в режиме on-line к текущим номерам журналов, журнальным архивам, электронным книгам, изданным 2005 – 2010 гг., а также к информационным ресурсам: Springer Protocols; Springer Materials, включая Landold Boernstein, ZentralBlatt MATH, Springer References. Договор с НП «НЭИКОН» № 135/14-Д от 30.10.2014. Доступ с 01.09.2014 по 31.08.2015. Архивные права до 01.01.2017.

7. **Web of Science**

http://webofscience.com/

Самая авторитетная в мире аналитическая и цитатная база данных журнальных статей**,** объединяет 3 указателя: Science/Social Sciences/Arts&Humanities Citation Index и включает более 12 500 наименований журналов, 120 000 материалов конференций, 50 миллионов статей и 800 миллионов цитирований.

Договор с ГПНТБ России № 1/БП/50 от 01.11.2014. Доступ к текущей БД (2014 – 2015) до 31 мая 2015 г., к архиву (2007 – 2013) – бессрочно.

Договор с НП «НЭИКОН» №177/14-Д от 31.12.2014. Доступ к архиву (2000–2006) – бессрочно.

8. **Wiley**

http://onlinelibrary.wiley.com/

Полная коллекция статей из 1537 журналов по различным дисциплинам с 1993 по 2015 год.

Договор с ФГУП ВО «Академинторг» РАН № АИТ 14-3-260 от 20 октября 2014 г. Срок доступа – до 31.12.2015 г.

Электронно-библиотечные системы

1. http://dl.unilib.neva.ru - Электронная библиотека ГОУ «СПбГПУ».

2. http://arbicon.ru/projects/EPOS/ - Электронное полнотекстовое объединенное собрание (ЭПОС). Некоммерческое Партнерство «Ассоциация Региональных Библиотечно - Информационных Консорциумов» (НП АРБИКОН). Договор № С/53-2 от 13.03.2012 о сотрудничестве в области развития библиотечно-информационных ресурсов и сервисов. Бессрочный доступ.

3. http://www.ibooks.ru - ЭБС «Айбукс»/ibooks. ООО «Айбукс» Договор № 1-12/14К от 08.12.2014 на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным книгам ЭБС «Айбукс.ру/ibooks.ru» с 08.12.2014 до 19.12.2015.

Методические рекомендации по оформлению студенческих работ (рефератов, курсовых и дипломных проектов и работ и др.)

URL: http://moodle.spbstu.ru/course/view.php?id=96 (доступ свободный)

9.3. Технические средства обеспечения дисциплины

Компьютерный класс ПЭВМ с микропроцессором не ниже Pentium IV, объем ПЗУ не меньше 2-3 ГБ, объем ОЗУ не меньше 512 МБ.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная лекционная ауд. 7**

1. Интерактивная доска Panasonic TH-65PB2E
2. Столы, стулья
3. Доска меловая
4. Ноутбук с установленными программными продуктами: операционная система Microsoft Microsoft Windows 7 PRO, Microsoft Windows 8, Microsoft Office 2010 PRO, Антивирус

Касперского, 7-zip (архиватор)
2. **Учебная ауд.2**
1. Компьютеры с установленными программными продуктами: операционная система MicrosoftWindowsXP PRO, Антивирус Касперского, 7-zip (архиватор), программный комплекс «POLYCAST» (разработка кафедры), программный комплекс «POLYTHERM» (разработка кафедры), Лицензированный пакет Thermo-Calc (разработка фирмы «Thermo-Calc Software», Sweden) 2. Роутер Wi-Fi для доступа к сети интернет; 3. Доска магнитно-маркерная; 4.Столы, стулья.

11. Критерии оценивания и оценочные средства

Промежуточная аттестация по результатам изучения дисциплины проходит в форме зачета (включает в себя ответы на теоретические вопросы). Формирование итоговой оценки по дисциплине - с учетом оценки работы студента в семестре.

Цифровое выражение	Словесное выражение	Описание
5	Отлично	Выполнен полный объем работы, ответ студента полный и правильный. Студент способен обобщить материал, сделать собственные выводы, выразить свое мнение, привести иллюстрирующие примеры
4	Хорошо	Выполнено 75% работы, ответ студента правильный, но неполный. Не приведены иллюстрирующие примеры, обобщающее мнение студента недостаточно четко выражено
3	Удовлетвори тельно	Выполнено 50% работы, ответ правилен в основных моментах, нет иллюстрирующих примеров, нет собственного мнения студента, есть ошибки в деталях и/или они просто отсутствуют
2	Неудовлетво рительно	Выполнено менее 50% работы, в ответе существенные ошибки в основных аспектах темы.

Критерии оценки зачета

Студент допускается к зачету, если: выполнил все предусмотренные виды самостоятельной работы. Зачет проходит в устной форме или в форме тестирования.

Оценка **«зачтено»** выставляется студенту, который

- прочно усвоил предусмотренный программный материал;
- правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров;
- показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов
- без ошибок выполнил практическое задание.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе.

Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной работы, систематическая активная работа на практических занятиях.

Оценка **«не зачтено»** Выставляется студенту, который не смог раскрыть основной вопрос даже на 50%, в ответах на другие (дополнительные) вопросы допустил существенные ошибки или не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

11.1. Критерии оценивания

Оценка освоения дисциплины включает текущий контроль в виде презентаций по самостоятельно подготовленным рефератам, итоговую аттестацию в конце семестра в виде зачета. Оценка качества освоения дисциплины проводится по результатам защиты отчетов и качества выполненного и представленного реферата, а также зачета.

11.2. Оценочные средства

Список вопросов для оценки знаний на зачете:

1. Система литейных процессов, их пространственно-временной масштаб и взаимное сопряжение, принципы декомпозиции. Автомодельность процессов, условия ее проявления и использование.
2. Система уравнений для моделирования литейных процессов, проблемы и методы ее решения. Редукция системы для различных технологических условий.
3. Фракционный анализ системы уравнений для моделирования гидродинамических процессов. Критерии подобия, их взаимосвязь и автомодельность.
4. Моделирование гидродинамических процессов при литье. Критерии подобия процессов течения, решаемые задачи и методы решения.
5. Алгоритм численного моделирования гидродинамических процессов при литье. Диагностика условий заполнения формы.
6. Моделирование и регулирование гидравлических процессов при заливке форм из стопорного (поворотного) ковша. Решаемые задачи. Диагностика режимов заливки.
7. Моделирование и регулирование тепловых процессов при литье. Критерии подобия процессов теплообмена, решаемые задачи и методы решения. Диагностика условий затвердевания отливок.
8. Алгоритм численного моделирования тепловых процессов при затвердевании отливок. Решаемые задачи.
9. Решение сопряженной задачи остывания потока расплава и ее использование для диагностики литниковых систем.
10. Кристаллизационные процессы при затвердевании отливок, их моделирование и регулирование. Диагностика условий формирования структуры отливок.
11. Алгоритм численного моделирования процессов формирования макро- и микроструктуры отливок. Решаемые задачи.
12. Адаптивный прогноз структуры отливок.