

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук

«Утверждаю»  
Директор ИПС им. А.К. Айламазяна РАН  
член-корреспондент РАН



С.М. Абрамов  
«22» октября 2018 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы»

Образовательная программа: основная профессиональная образовательная программа высшего образования - программа подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки: 09.06.01 Информатика и вычислительная техника  
Направленности (профили):

- Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Присваиваемая квалификация:

**«Исследователь. Преподаватель-исследователь»**

Форма обучения: очная, заочная

Рабочая программа предназначена для методического сопровождения преподавания дисциплины (модуля) «Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы» аспирантам очной/заочной формы обучения по направлению подготовки кадров высшей квалификации 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника».

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. № 875.
2. Рабочие учебные планы подготовки аспирантов ИПС им. А.К. Айламазяна РАН по направленностям (профилям) основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Программа одобрена Ученым советом ИПС им. А.К. Айламазяна РАН (протокол №20 от 22 октября 2018 года).

Разработал к.т.н. С.А. Амелькин

### 1. Цель и задачи освоения дисциплины

**Цель дисциплины:** обучение методам решения теоретических и практических задач, возникающих в ходе разработки инновационных информационных технологий, в том числе энергосберегающих, с учетом конструктивных особенностей реализации и используемых вычислительных алгоритмов.

**Основные задачи:** получение аспирантом знаний и умений для осуществления взаимодействия между разработчиками и заказчиками аппаратного и программного обеспечения высокопроизводительных вычислительных комплексов.

### 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина (модуль) «Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы» включена в вариативную часть Блока 1 Программы в качестве дисциплины по выбору. Шифр дисциплины - Б1.В.ДВ.1.1.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных аспирантами в результате освоения образовательной программы высшего образования второго уровня (магистратура, специалитет).

Дисциплина «Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы» является предшествующей для подготовки и представления научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы.

Блок	Базовая или вариативная часть	Семестр, в котором преподается дисциплина	Трудоемкость дисциплины				Вид промежуточной аттестации
			Зачетные единицы	Часы			
				Общая	В том числе		
					Аудиторная	СР	
Б1.В.ДВ.2	Вариативная часть	3,4	5	180	36	144	Зачет
<b>ИТОГО</b>		3,4	5	180	36	144	Зачет

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

№ пп.	Формируемые компетенции	Номер/ индекс компетенции
1	Способность выявлять проблемные места в области математического и программного обеспечения вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей; ставить цель и конкретизировать ее на уровне задач; выстраивать научный аппарат исследования; строить модели исследуемых процессов или явлений.	ПК-1
2	Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в области математического и программного обеспечения вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей с использованием передовых технологий.	ПК-2
3	Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	ОПК-1

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Шифр компетенции	Результат обучения
ПК-1	<b>знать:</b> основные направления развития информационных технологий, задачи, решаемые с помощью инновационных IT-технологий, полученные на сегодняшний день результаты и наиболее вероятные пути эволюции аппаратного и программного обеспечения.. <b>уметь:</b> сформулировать и корректно описать задачи, возникающие в ходе разработки

	инновационных информационных технологий, в том числе энергосберегающих, конструктивные особенности реализации и используемые алгоритмы решения задач
ПК-2	<b>знать:</b> области использования инновационных информационных технологий, ожидаемые результаты их использования и проблемы, с которыми сталкиваются разработчики при создании нового аппаратного и программного обеспечения... <b>уметь:</b> выбрать и обосновать выбор технологии для решения новых задач в области информационных технологий.. <b>владеть:</b> современными технологиями для решения новых задач в области ИКТ.
ОПК-1	<b>знать:</b> перспективные направления развития современных информационных технологий. <b>уметь:</b> составлять техническое задание на разработку аппаратного и программного обеспечения высокопроизводительных вычислительных комплексов. <b>владеть:</b> терминологией и умением формулировать задачи как в области финансовых технологий и цифровой экономики, так и в области информатики и IT-технологий..

#### 4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

##### 4.1 Структура дисциплины (модуля)

Дисциплина преподается в 3 семестре.

Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)					Вид контроля	
	Всего	Всего аудит.	Из аудиторных				Самост. работа
			Лек.	Пр.	Лаб..		
Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы	180	36	36	-	-	144	Зачет

##### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

###### 4.2.1 Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной работы и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа (СР)	Коды компетенций
		Лек.	Пр.	Лаб.		
1.	Задачи энергосбережения для высокопроизводительных вычислительных комплексов	10			48	ПК-1, ПК-2, ОПК-1
2	Методы организации охлаждения высокопроизводительных вычислительных комплексов	18			48	ПК-1, ПК-2, ОПК-1
3	Имитационные модели охлаждения высокопроизводительных вычислительных комплексов	8			48	ПК-1, ПК-2, ОПК-1
Итого		36			144	

###### 4.2.2 Содержание разделов дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий
1	2	3	4
1	Задачи энергосбережения для высокопроизводи-	Развитие высокопроизводительных вычислительных комплексов. Top Ten Exascale Research Challenges. Задачи разработки энергоэффективных процессоров и систем охлаждения. Критерии энергоэффективности PUE, MFW и WPD, их особенности и	Лекции

	тельных вычислительных комплексов	недостатки. Применение методов оптимизационной термодинамики для определения оптимальных режимов теплообмена. Условие минимального производства энтропии. Теплообмен в системах с несколькими источниками тепла. Многопоточный теплообмен. Интегральный критерий энергоэффективности QTF. Сравнение высокопроизводительных вычислительных комплексов по величине QTF. Связь QTF и стандартных критериев энергоэффективности.	
2	Методы организации охлаждения высокопроизводительных вычислительных комплексов	Возможности утилизации тепла. Климатические условия как фактор, влияющий на энергоэффективность высокопроизводительных вычислительных комплексов. Суточные и годовые колебания температуры воздуха. Одноконтурные и многоконтурные системы утилизации тепла. Фрикулинг. Выбор хладагента для организации систем охлаждения. Воздушное охлаждение высокопроизводительных вычислительных комплексов. Зависимость эффективности воздушного охлаждения от интенсивности потока воздуха. Организация воздушных потоков при охлаждении вычислительных комплексов. Горячие и холодные коридоры. Межрядные кондиционеры. Подготовка воздуха. Предельные возможности двухконтурных и трехконтурных систем воздушного охлаждения. Расчет радиатора, эффективность радиаторов. Использование тепловых трубок для повышения эффективности радиатора. Гибридное охлаждение. Эффективность гибридных систем охлаждения. Погружное (иммерсионное) охлаждение высокопроизводительных вычислительных комплексов. Конвекционные потоки. Расчет радиаторов, погруженных в жидкость. Эффективность радиаторов. Расчет теплообменников. Одно- и двухконтурные системы погружного охлаждения. Поливные системы охлаждения высокопроизводительных вычислительных комплексов. Расчет потоков хладагента и эффективность погружных и поливных систем. Системы охлаждения высокопроизводительных вычислительных систем с фазовым переходом. Предельные возможности систем охлаждения в условиях изменения температуры окружающего воздуха.	Лекции
3	Имитационные модели охлаждения высокопроизводительных вычислительных комплексов	Имитационная модель радиатора при использовании жидких и газообразных хладагентов. Оптимальный режим подачи хладагента в системе многопроцессорных плат. Расчет режима максимальной энергоэффективности. Модели установки вычислительных плат. Возможности конвективных потоков хладагента в погружных системах охлаждения. Пути развития систем охлаждения высокопроизводительных систем охлаждения.	Лекции

#### 4.3 Практические занятия (семинары)

Учебным планом не предусмотрено.

#### 4.4 Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

#### 4.5 Самостоятельная работа аспиранта при изучении разделов дисциплины

Самостоятельная работа аспиранта при изучении дисциплины «Энергоэффективные высокопроизводительные вычислительные комплексы» составляет 144 часа.

В ходе самостоятельной работы аспирант:

- изучает материалы, не освещенные в лекциях;
- готовится к зачету.

#### 5 Образовательные технологии

При освоении дисциплины «Энергоэффективные высокопроизводительные

вычислительные комплексы» используются следующие образовательные технологии:

- активные (лекции);
- информационные (анализ и обзор источников информации);
- компьютерные (виртуальные и сетевые интернет-технологии),
- информационно-коммуникативные (компьютеры, телекоммуникационные сети),
- коммуникативные (обсуждение проблем на аудиторных занятиях, круглые столы, диспуты, участие в аспирантских научных и научно-практических конференциях).

#### **6 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

По итогам освоения дисциплины аспирантом сдается зачет.

##### ***Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (зачет)***

1. Постановки задач разработки энергоэффективных процессоров и систем охлаждения.
2. Критерии энергоэффективности PUE, MFW и WPD, их особенности и недостатки.
3. Постановка и решение задачи определения интенсивности потоков тепла в системах с несколькими источниками тепла.
4. Интегральный критерий энергоэффективности QTF. Сравнение высокопроизводительных вычислительных комплексов по величине QTF.
5. Связь QTF и стандартных критериев энергоэффективности.
6. Климатические условия как фактор, влияющий на энергоэффективность высокопроизводительных вычислительных комплексов.
7. Одноконтурные и многоконтурные системы утилизации тепла. Постановка и решение задачи определения граничных температур в контурах системы охлаждения.
8. Воздушное охлаждение высокопроизводительных вычислительных комплексов. Зависимость эффективности воздушного охлаждения от интенсивности потока воздуха.
9. Организация воздушных потоков при охлаждении вычислительных комплексов. Горячие и холодные коридоры. Межрядные кондиционеры. Подготовка воздуха.
10. Расчет радиатора, эффективность радиаторов.
11. Расчет эффективности гибридных систем охлаждения. Предельные значения QTF для гибридных систем охлаждения.
12. Расчет эффективности погружных систем охлаждения. Предельные значения QTF для погружных систем охлаждения.
13. Предельные возможности систем охлаждения в условиях изменения температуры окружающего воздуха.
14. Оптимальный режим (режим максимальной энергоэффективности) подачи хладагента в системе многопроцессорных плат.

##### ***Описание показателей и критериев оценивания компетенций, а также шкал оценивания***

Категории «знать», «уметь», «владеть» применяются в следующих значениях:

«**знать**» – воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты.

«**уметь**» – решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;

**«владеть»** – решать усложненные задачи на основе приобретенных знаний, умений и навыков, с их применением в нетипичных ситуациях, формируется в процессе получения опыта деятельности.

**Интегральный уровень сформированности компетенции определяется** по следующим критериям:

- пороговый уровень дает общее представление о виде деятельности, основных закономерностях функционирования объектов профессиональной деятельности, методов и алгоритмов решения практических задач;

- базовый уровень позволяет решать типовые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения по известным алгоритмам, правилам и методикам;

- повышенный уровень предполагает готовность решать практические задачи повышенной сложности, нетиповые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения в условиях неполной определенности, при недостаточном документальном, нормативном и методическом обеспечении.

**Критерии оценивания компетенции следующие:**

проверка уровня сформированности «знаниевой» составляющей компетенции по теме:

- полный ответ на вопрос – 4-5 баллов;
- неполный ответ – 2-3 балла;
- неполученный ответ - 0 баллов;

проверка уровня сформированности «деятельностных» составляющих компетенции, позволяющих оценить уровень умений и навыков, применить полученные знания при решении конкретных вопросов (задач) по теме:

- полный ответ на вопрос – 4-5 баллов;
- неполный ответ – 2-3 балла;
- неполученный ответ – 0 баллов.

При проведении зачета по дисциплине задаются три контрольных вопроса. Оценку «зачтено» по дисциплине получает аспирант, суммарно набравший при ответе на три вопроса не менее 10 баллов.

## 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
1.	Гергель В.П.	Технологии построения и использования кластерных систем	НОУ "Интуит", 2016	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
2.	Богданов А.В., Станкова Е.Н., Мареев В.В.	Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем	НОУ "Интуит", 2016	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
3.	Жуматий С.А., Воеводин В.В.	Вычислительное дело и кластерные системы	НОУ "Интуит", 2016	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
4.	Цирлин А.М.	Оптимизационная термодинамика экономических систем	М.: Научный мир, 2011	Монография	9

### 7.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
1.	Немнюгин С.А.	Модели и средства программирования для	НОУ "Интуит", 2016	Учебное пособие	ЭБС «Лань»

		многопроцессорных вычислительных систем			
2.	Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.	Алгоритмы: построение и анализ	М.: МЦНМО: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004	Учебник	1
3.	Д. Паттерсон, Дж. Хеннесси	Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем	СПб.: Питер, 2012	Монография	1
4.	Э. Таненбаум	Архитектура компьютера	СПб.: Питер, 2013	Монография	2
5.	Таненбаум Э.	Компьютерные сети	СПб.: Питер, 2010	Монография	2
6.	Дж. Макконнелл	Анализ алгоритмов. Активный обучающий подход	М.: Техносфера, 2009	Учебное пособие	1
7.	Андреев А.М., Можаров Г.П., Сюзев В.В.	Многопроцессорные вычислительные системы: теоретический анализ, математические модели и применение	М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011	Учебное пособие	1
8.	Лесин В.В., Лисовец Ю.П.	Основы методов оптимизации	Издательство "Лань", 2016	Учебник	ЭБС «Лань»

### 7.3. Интернет-ресурсы

Электронная библиотечная система «Лань» <https://e.lanbook.com/>  
Информационно-поисковая система ФИПС <http://new.fips.ru/> ;  
Международная БД патентной информации Espacenet <https://ru.espacenet.com/> ;  
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru>.  
The Green 500. <https://www.top500.org/green500/>  
The European Commission's priorities. [https://ec.europa.eu/info/strategy\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy_en)  
CRESTA: Developing techniques and solutions which address the most difficult challenges that computing at the exascale. <http://www.cresta-project.eu>

### 7.4. Лицензионное программное обеспечение

- MS Office.

### 7.5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта

Используются следующие виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных аудиториях и в домашних условиях.

Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе лекционных занятий.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

## 8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения реализации ОПОП в ИПС им. А.К. Айламазяна РАН используются аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Аудитории для самостоятельной работы аспирантов оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети



«Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду.

Аудитории для проведения занятий оснащены мультимедийными средствами: это проекторы, настенные экраны, ПК.

Обеспечены доступ к библиотечному фонду ИПС им. А.К. Айламазяна РАН (электронный каталог <http://lib.psir.ru/>).

Доступ в Internet обеспечивается через локальную сеть 100 Мбит/с.