

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Программное моделирование вычислительных систем
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра перспективных вычислительных технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: П.И. Крюков, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры перспективных вычислительных технологий 16.05.2023

## Аннотация

Целью курса является ознакомление слушателей с современными технологиями создания программных моделей вычислительных систем различной детализации и областей применения, таких как: разработки программного обеспечения, разработка аппаратной архитектуры и микроархитектуры, исследования производительности и свойств вычислительных систем на стадиях раннего проектирования вычислительных систем, поддержка кросс-платформенных систем.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Ознакомление студентов с современными технологиями создания программных моделей вычислительных систем различной детализации и областей применения.

#### Задачи дисциплины

- Получение представления о задачах, решаемых посредством программного моделирования вычислительных технологий
- Приобретение знаний о существующем спектре технологий моделирования, их области применимости на разных этапах маршрута проектирования вычислительных систем.
- Знакомство с основными решениями с открытым программным кодом.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ключевые технологии программного моделирования, их количественные характеристики, их область применения на разных этапах маршрута проектирования вычислительных систем.

уметь:

- определять наиболее применимые технологии программного моделирования для поставленных задач, исходя из теоретических, практических, и экономических требований;
- понимать место каждой технологии в маршруте проектирования и способы их интеграции между собой.

владеть:

- навыками создания простых моделей вычислительных систем,
- программными средами для связывания их в модели полных систем, используя различные технологии моделирования.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Программное моделирование как предмет исследования	2			2
2	Функциональное моделирование архитектуры системы команд	2	2		4
3	Симуляторы платформ	3	3		6
4	Событийный подход к моделированию микроархитектуры	3	3		6
5	Потактовый подход к моделированию микроархитектуры	3	3		6
6	Гибридная симуляция	2	4		6
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Программное моделирование как предмет исследования

Назначение и роль моделирования в процессе разработки и выпуска программно-аппаратных систем. Основные параметры моделей: скорость симуляции, верность, трудоёмкость, сложность, масштабируемость. Классификация существующих моделей, приоритизация параметров для каждого класса. Область применимости каждой модели на маршруте проектирования.

## 2. Функциональное моделирование архитектуры системы команд

Интерпретатор как простейшая модель микропроцессора. Базовый принцип построения интерпретаторов. Оптимизации интерпретирующих моделей: сцепленная интерпретация, кэширование результатов декодирования. Основы двоичной трансляции, трансляция трасс и трансляция базовых блоков, проблема самомодифицирующегося кода. Прямое исполнение. Виртуализация как разновидность функционального моделирования. Практическая работа с симулятором с открытым исходным кодом Spike (RISC-V ISA).

## 3. Симуляторы платформ

Моделирование полных систем и отдельных приложений. Точки сохранения (checkpointing). Исполнение в обратном направлении (reverse execution). Моделирование единого времени в системе со многими устройствами. Моделирование многопроцессорных систем. Практическая работа с QEMU.

## 4. Событийный подход к моделированию микроархитектуры

Дискретные события. Исполняющие и неисполняющие виды моделей. Очереди событий. Обеспечение модульности событийных микроархитектурных моделей. Ограничения точности моделей. Параллельные модели, барьерная синхронизация. Схемы с точками сохранения. Методология проведения исследований. Понятия бенчмарков, примеры: SPEC17, Dhrystone, Whetstone и другие. Существующие реализации. Практическая работа с Gem5.

## 5. Потактовый подход к моделированию микроархитектуры

Модель портов. Модель потоков. Сопряжение функциональной и потактовой модели. Трассы исполнения и их использование для потактовой симуляции. Концепция портов как абстракции для построения потактового симулятора с ведущей функциональной частью. Обеспечение модульности потактовых микроархитектурных моделей. Языки описания моделей. Стандарты SystemC и TLM. DML как пример специализированного языка. Практическая работа с ASIM.

## 6. Гибридная симуляция

Задачи, решаемые гибридной симуляцией. Обзор существующих технологий: FireSim, Chisel, Verilator. Ограничения гибридной симуляции, область применения.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.
- Персональная ЭВМ для выполнения домашних заданий

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Основы программного моделирования ЭВМ [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Речистов [и др.] ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2013 .— 222 с.
2. Bellard, Fabrice. QEMU, a fast and portable dynamic translator // FREENIX Track: 2005 USENIX Annual Technical Conference. 2005.
3. Emer, Joel, et al. Asim: A performance model framework. // Computer 35.2 (2002): 68-76.

### Дополнительная литература

1. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ахо, А. В. [и др.] ; [пер. с англ. и ред. И. В. Красикова] .— 2-е изд. — М. : Вильямс, 2011 .— 1184 с.

2. Richard L. Sites, Anton Chernoff, Matthew B. Kirk et al. Binary translation // Communications of the ACM Vol. 36, № 2. Pp. 69–81. 1993.
3. Алехин В.А. SystemC. Моделирование электронных систем. — М.: Горячая линия - Телеком, 2018. — 320 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

RISC-V Spike: <https://github.com/riscv-software-src/riscv-isa-sim>

QEMU: <https://www.qemu.org/>

Gem5: <https://www.gem5.org/>

SystemC: <https://accelera.org/community/systemc>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В процессе самостоятельной работы обучающихся предполагается использование ОС Linux и программных средств работы с симуляторами Spike, QEMU, Gem5, окружением ASIM и SystemC, а так же языками высокого уровня C и C++.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная

работа включает в себя:

- проработку учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе
- чтение дополнительных источников знаний, в том числе на иностранном языке
- подготовку вопросов преподавателям и ассистентам
- своевременное и самостоятельное выполнение домашних теоретических и практических заданий

Рекомендуется обращать внимание на причины, приведшие к изобретению рассматриваемых методов и подходов, их сильные и слабые стороны,

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы способствует успешному усвоению материала и высоким результатам на промежуточной и итоговой аттестациях.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра перспективных вычислительных технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** П.И. Крюков, преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Программное моделирование вычислительных систем» обучающийся должен:

### знать:

- ключевые технологии программного моделирования, их количественные характеристики, их область применения на разных этапах маршрута проектирования вычислительных систем.

### уметь:

- определять наиболее применимые технологии программного моделирования для поставленных задач, исходя из теоретических, практических, и экономических требований;
- понимать место каждой технологии в маршруте проектирования и способы их интеграции между собой.

### владеть:

- навыками создания простых моделей вычислительных систем,
- программными средами для связывания их в модели полных систем, используя различные технологии моделирования.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Основные параметры моделей: скорость симуляции, верность, трудоёмкость, сложность, масштабируемость.
2. Система классификация существующих моделей, приоритизация параметров для каждого класса. Область применимости каждой модели на маршруте проектирования.
3. Базовый принцип построения интерпретаторов.
4. Основные методы оптимизации интерпретирующих моделей.
5. Принципы двоичной трансляции, оптимизации на её основе.
6. Ограничения двоичной трансляции.
7. Виртуализация как разновидность функционального моделирования.
8. Точки сохранения (checkpointing), назначение и методы имплементации.
9. Исполнение в обратном направлении (reverse execution), назначение и методы имплементации.
10. Моделирование единого времени в системе со многими устройствами.
11. Моделирование многопроцессорных систем.
12. Отличия исполняющих и неисполняющих видов моделей.
13. Очередь событий, принцип построения симулятора с её использованием.
14. Обеспечение модульности микроархитектурных моделей.
15. Параллельные модели, барьерная синхронизация.
16. Методология проведения исследований. Понятия бенчмарков, примеры: SPEC17, Dhrystone, Whetstone и другие.
17. Модели портов и потоков как подходы к созданию потактовых моделей.
18. Сопряжение функциональной и потактовой модели.
19. Трассы исполнения и их использование для потактовой симуляции.
20. Языки описания моделей. Стандарты SystemC и TLM. DML как пример специализированного языка.
21. Задачи, решаемые гибридной симуляцией.
22. Ограничения гибридной симуляции, область применения.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Основные параметры моделей: скорость симуляции, верность, трудоёмкость, сложность, масштабируемость.
2. Ограничения гибридной симуляции, область применения.

Билет 2.

1. Система классификация существующих моделей, приоритизация параметров для каждого класса. Область применимости каждой модели на маршруте проектирования.
2. Задачи, решаемые гибридной симуляцией.

### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.



Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамен обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, материалами конспектов, монографиями, научными статьями.