

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Высшая школа информационных технологий и информационных систем



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Талюцкий Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Эффективная разработка Б1.В.ДВ.4

Направление подготовки: 09.03.03 - Прикладная информатика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Иванов К.В. , Сабирзянов Рифат Ринатович

**Рецензент(ы):**

Таланов М.О.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Таланов М. О.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Высшей школы информационных технологий и информационных систем:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6895717

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) старший преподаватель, к.н. Иванов К.В. кафедры интеллектуальной робототехники Высшая школа информационных технологий и информационных систем, KVIvanov@kpfu.ru ; Сабирзянов Рифат Ринатович

### 1. Цели освоения дисциплины

- Дать систематизированное представление о современном положении в области формальной верификации программ.
- Научить формальной верификации небольших программ.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.4 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 09.03.03 Прикладная информатика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Освоение курса предполагает предварительное знакомство студентов с содержанием учебных дисциплин: "Информатика, математическая логика" и "Программирование" (в рамках материала, изученного в 1-2 модулях).

Предполагается, что студенты, изучающие этот курс, уже знают, умеют или владеют:

- Базовыми знаниями языков программирования: Java, C#, Pascal, C.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способностью принимать участие во внедрении, адаптации и настройке информационных систем
ПК-11 (профессиональные компетенции)	способностью эксплуатировать и сопровождать информационные системы и сервисы
ПК-15 (профессиональные компетенции)	способностью осуществлять тестирование компонентов информационных систем по заданным сценариям

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- Понятия предусловие, постусловие, инвариант цикла.
- Понятие тройки Хоара.
- Метод дедуктивной верификации.
- Метод индуктивных утверждений.
- Метод верификации абстрактных типов данных.

2. должен уметь:

- Уметь записывать предусловия, инварианты и постусловия к программам.

- Уметь проводить формальную верификацию программ для заданных предусловий и постусловий.

3. должен владеть:

- теоретическими основами верификации программного обеспечения.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- получить навыки формальной верификации небольших программ.

- применять полученные знания в своей профессиональной деятельности.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Понятие формальной верификации.	6	1-2	0	8	0	письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Верификация циклов.	6	3-4	0	8	0	письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Кванторы в условиях корректности.	6	5-6	0	8	0	контрольная работа
4.	Тема 4. Верификация условий с массивами. Безопасность операций.	6	7-8	0	8	0	письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Верификация условий с указателями и записями.	6	9-10	0	8	0	письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Верификация процедур.	6	11-12	0	8	0	контрольная работа
7.	Тема 7. Методу индуктивных утверждений.	6	13-14	0	8	0	письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Верификация абстрактных типов данных.	6	15-16	0	8	0	письменное домашнее задание
9.	Тема 9. Доказательства корректности в проблемных областях.	6	17-18	0	8	0	контрольная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	экзамен
	Итого			0	72	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Понятие формальной верификации.

#### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Термин верификация. Понятие предусловия, постусловия, тройки Хоара. Аксиома оператора присваивания. Дедуктивная верификация последовательности операторов. Аксиома условного оператора. Правила усиления предусловия и ослабления постусловия. Вычисление логических выражений. Нахождение предусловия при известном постусловии для оператора присваивания. Проверка истинности троек Хоара для одного оператора присваивания. Нахождение предусловия при известном постусловии для последовательности операторов присваивания. Проверка истинности троек Хоара для нескольких операторов присваивания. Нахождение предусловия при известном постусловии для условного оператора.

### Тема 2. Верификация циклов.

#### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Правило "разделяй и властвуй". Понятие инварианта цикла. Правило вывода для цикла с предусловием. Доказательство конечности цикла. Проверка корректности инварианта цикла. Нахождение ограничивающей функции и доказательство того, что цикл завершается. Нахождение инварианта и ограничивающей функции. Доказательство корректности алгоритма быстрого возведения в степень.

### Тема 3. Кванторы в условиях корректности.

#### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Кванторы суммы, произведения, всеобщности и существования в инвариантах циклов. Свойства квантора суммы. Проверка корректности инвариантов с кванторами всеобщности, существования, квантором суммы и квантором произведения.

### Тема 4. Верификация условий с массивами. Безопасность операций.

#### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Правило вывода для присваивания элементу массива. Функция обновления массива. Безопасная аксиома присваивания. Примеры ошибок времени исполнения. Нахождение предусловия при известном постусловии для оператора присваивания элементу массива. Нахождение предусловия при известном постусловии для нескольких операторов присваивания элементу массива. Нахождение предусловия при известном постусловии для нескольких операторов присваивания с учетом безопасности операций. Верификация алгоритма ?безопасного? сложения двух чисел.

#### **Тема 5. Верификация условий с указателями и записями.**

##### **практическое занятие (8 часа(ов)):**

Правило вывода для присваивания полю записи. Правило вывода для присваивания разыменованному указателю. Нахождение предусловия при известном постусловии для оператора присваивания полю записи. Нахождение предусловия при известном постусловии для оператора присваивания разыменованному указателю. Нахождение предусловия при известном постусловии для нескольких операторов присваивания с полями записи, разыменованными указателями и присваиваниями элементам массива.

#### **Тема 6. Верификация процедур.**

##### **практическое занятие (8 часа(ов)):**

Правило вывода для процедур без параметров. Правило вывода для процедур с параметрами. Проблема синонимов. Правило вывода для рекурсивных процедур. Нахождение предусловия при известном постусловии для вызова процедуры. Нахождение предусловия при известном постусловии для рекурсивной процедуры.

#### **Тема 7. Методу индуктивных утверждений.**

##### **практическое занятие (8 часа(ов)):**

Определения. Метод индуктивных утверждений. Нахождение всех простых путей в алгоритме. Доказательство корректности простых путей в алгоритме.

#### **Тема 8. Верификация абстрактных типов данных.**

##### **практическое занятие (8 часа(ов)):**

Определение абстрактного типа данных (АТД). Примеры АТД: список, стек, очередь и т.д. Домен АТД. Операции над доменом. Аксиомы АТД. Нахождение предусловий для алгоритмов, использующих АТД, при известных аксиомах АТД.

#### **Тема 9. Доказательства корректности в проблемных областях.**

##### **практическое занятие (8 часа(ов)):**

Проблемно-ориентированная верификация. Язык спецификаций. Типы понятий языка спецификаций. Доказательство корректности алгоритма с использованием введенных проблемно-ориентированных понятий.

### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

<b>N</b>	<b>Раздел Дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Неделя семестра</b>	<b>Виды самостоятельной работы студентов</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>	<b>Формы контроля самостоятельной работы</b>
1.	Тема 1. Понятие формальной верификации.	6	1-2	подготовка домашнего задания	10	домашнее задание
2.	Тема 2. Верификация циклов.	6	3-4	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
3.	Тема 3. Кванторы в условиях корректности.	6	5-6	подготовка к контрольной работе	12	контрольная работа

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Верификация условий с массивами. Безопасность операций.	6	7-8	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
5.	Тема 5. Верификация условий с указателями и записями.	6	9-10	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
6.	Тема 6. Верификация процедур.	6	11-12	подготовка к контрольной работе	12	контрольная работа
7.	Тема 7. Методу индуктивных утверждений.	6	13-14	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
8.	Тема 8. Верификация абстрактных типов данных.	6	15-16	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
9.	Тема 9. Доказательства корректности в проблемных областях.	6	17-18	подготовка к контрольной работе	14	контрольная работа
	Итого				108	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Метод кейсов (англ. Case method, кейс-метод, кейс-стади, case-study, метод конкретных ситуаций)- техника обучения, использующая описание реальных ситуаций. Обучающиеся должны проанализировать ситуацию, разобраться в сути проблем, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них. Кейсы базируются на реальном фактическом материале, или же приближены к реальной ситуации.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Понятие формальной верификации.

домашнее задание , примерные вопросы:

Найти предусловие для оператора присваивания при известном постусловии. Найти предусловие для условного оператора при известном постусловии. Найти предусловие для нескольких операторов присваивания при известном постусловии. Верифицировать алгоритма нахождения максимума двух чисел.

### Тема 2. Верификация циклов.

домашнее задание , примерные вопросы:

Найти инвариант цикла для заданного цикла. Проверить инвариант цикла. Найти ограничивающую функцию для заданного цикла. Доказать, что найденная функция действительно является ограничивающей функцией и что цикл завершается. Верифицировать алгоритм вычисления факториала.

### Тема 3. Кванторы в условиях корректности.

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа, примерные вопросы: Найти предусловие для оператора присваивания  $\{?\} x := x + 1; \{x = 5\}$ . Найти предусловие для нескольких операторов присваивания  $\{?\} x := x + y; y := x + y; \{x + y = 10\}$  Найти предусловие для условного оператора  $\{?\} \text{IF } x < 5 \text{ THEN } y := x + 5; \text{ELSE } y := x - 5; \text{END}; \{0 < y\}$ . Проверить правильный ли инвариант цикла:  $\{0 \leq M\} i := 0; P := 1; \{(0 \leq i \leq M) \wedge (P * N^{(M-i)} = N^M)\} \text{WHILE } i \neq M \text{ DO } P := P * N; i := i + 1; \text{END}; \{P = N^M\}$  Найти ограничивающую функцию (вариант цикла) и доказать, что цикл завершается  $\{0 \leq M\} i := 0; P := 1; \text{WHILE } i \neq M \text{ DO } P := P * N; i := i + 1; \text{END};$

#### Тема 4. Верификация условий с массивами. Безопасность операций.

домашнее задание , примерные вопросы:

Домашнее задание, примерные вопросы: Найти предусловие для присваивания элементу массива при заданном постусловии. Найти предусловие для оператора присваивания с арифметическими операциями с условием безопасности операций. Найти предусловие для нескольких операторов присваивания элементам массива. Верифицировать алгоритм обмена значениями двух ячеек массива.

#### Тема 5. Верификация условий с указателями и записями.

домашнее задание , примерные вопросы:

Домашнее задание, примерные вопросы: Найти предусловие для присваивания полю записи при заданном постусловии. Найти предусловие для присваивания разыменованному указателю. Найти предусловие для нескольких операторов присваивания с полями записи и разыменованными указателями.

#### Тема 6. Верификация процедур.

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа, примерные вопросы: Найти предусловие  $\{?\} a[x] := 5; \{a[x-y] = 10\}$  Найти предусловие  $\{?\} R.a := 10; \{R.b = 10\}$  Найти предусловие  $\{?\} M[a][b] := 5; \{M[b][a] = 10\}$  Найти предусловие  $\{?\} x^{\wedge} := 10; \{y^{\wedge} = 5\}$  Найти предусловие  $\{?\} x^{\wedge}.height := 5; \{y^{\wedge}.height = 10\}$  Найти предусловие  $\{?\} x[a].width := 10; \{y[b].height = 10\}$  Найти предусловие с учетом безопасности операций  $\{?\} y := -y; x := x + y; \{x = y\}$  Верифицировать процедуру PROCEDURE Min(x, y: INTEGER): INTEGER; (\*pre: TRUE post: (result = x  $\vee$  result = y) & (result <= x & result <= y) \*) VAR m: INTEGER; BEGIN IF x < y THEN m := x; ELSE m := y; END; RETURN m END Min

#### Тема 7. Методу индуктивных утверждений.

домашнее задание , примерные вопросы:

Домашнее задание, примерные вопросы: Найти все простые пути в заданном алгоритме. Выписать условия корректности для всех простых путей в заданном алгоритме. Доказать корректность условий корректности в заданном алгоритме.

#### Тема 8. Верификация абстрактных типов данных.

домашнее задание , примерные вопросы:

Домашнее задание, примерные вопросы: Верифицировать алгоритм, использующий АД стек. Верифицировать алгоритм, использующий АД очередь. Верифицировать алгоритм, использующий АД список

#### Тема 9. Доказательства корректности в проблемных областях.

контрольная работа , примерные вопросы:

Контрольная работа, примерные вопросы: Написать условие корректности для пути  $\{J1 = IQ * J2 + IR\} \text{assume } IR \geq J2 \text{ IQ} := IQ + 1 \text{ IR} := IR - J2 \{J1 = IQ * J2 + IR\}$  Найти предусловие при заданной алгебраической спецификации

#### Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

1. Понятие предусловия.
2. Понятие постусловия.
3. Понятие инварианта цикла.
4. Понятие тройки Хоара.
5. Правило вывода для оператора присваивания.

6. Правило вывода для последовательности операторов.
7. Правило усиления предусловия.
8. Правило ослабления постусловия.
9. Правило вывода для оператора IF.
10. Правило вывода для оператора с предусловием.
11. Правило вывода для оператора присваивания ячейке массива.
12. Правило вывода для оператора присваивания полю записи.
13. Правило вывода для оператора присваивания разыменованному указателю.
14. Правило вывода для процедуры без параметров.
15. Правило вывода для процедуры с параметрами.
16. Правило вывода для рекурсивной процедуры.
17. Метод индуктивных утверждений.
18. Абстрактный тип данных.
19. Домен абстрактного типа данных.
20. Аксиомы абстрактных типов данных.
21. Проблемно-ориентированная верификация.

### 7.1. Основная литература:

1. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: Учебное пособие / Л.Г. Гагарина. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 384 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-8199-0316-2 <http://znanium.com/bookread2.php?book=368454>
2. Алгоритмы и структуры данных. Новая версия для Оберона + CD [Электронный ресурс] / Никлаус Вирт; пер. с англ. Ф. В. Ткачев. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 272 с.: ил. - ISBN 978-5-94074-584-6. <http://znanium.com/bookread2.php?book=408420>
3. Алгоритмизация и программирование : Учебное пособие / С.А. Канцедал. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 352 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-8199-0355-1, 500 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=429576>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Ульянов, М.В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ [Электронный ресурс] : учебное пособие. ? Электрон. дан. ? М. : Физматлит, 2008. ? 303 с. ? Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2354](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2354) ? Загл. с экрана. <http://e.lanbook.com/view/book/2354/>
2. Информационные технологии и системы: Учебное пособие / Е.Л. Федотова. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 352 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-8199-0376-6 <http://znanium.com/bookread2.php?book=429113>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- Логика Хоара - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Логика\\_Хоара](https://ru.wikipedia.org/wiki/Логика_Хоара)
- Мифы о безопасном ПО: уроки знаменитых катастроф - <http://www.osp.ru/os/1998/06/179592/>
- Новая жизнь верификации - <http://www.osp.ru/os/2012/03/13015160/>
- Проектирование по контракту - [https://rdsn.ru/article/design/Code\\_Contracts.xml](https://rdsn.ru/article/design/Code_Contracts.xml)
- Проектирование по контракту: построение надежного ПО - <http://www.intuit.ru/studies/courses/71/71/lecture/2132?page=1>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Эффективная разработка" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Доступ в интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 09.03.03 "Прикладная информатика" и профилю подготовки не предусмотрено.

Автор(ы):

Иванов К.В. \_\_\_\_\_

Сабирзянов Рифат Ринатович \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Таланов М.О. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.