

Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра распределенных вычислений и компьютерных сетей

К дистанционному курсу
“Математическая логика-2015”

И. В. Шошмина
версия 3

23 апреля 2016 г.

Содержание

Предисловие	1
1 До начала проекта	3
1.1 Состояние курса	3
1.2 Участники проекта	4
1.3 Требования к проекту	4
2 Учебно-методическая часть проекта	5
2.1 Содержание курса	5
2.2 Практические занятия	13
2.3 Содержание домашних заданий и экзамена	14
2.3.1 Составление задач	15
2.3.2 Система оценивания и статистика	17
2.3.3 Некоторые отзывы слушателей	17
2.4 Расписание курса	18
2.5 О качестве представления материалов	18
2.6 Если бы знал, где упасть...	19
2.7 Некоторые замечания	19
2.8 Методические проблемы, сформулированные проф. Ю. Г. Карповым	20
3 Техническая часть проекта	21
3.1 Работы с платформой	21
3.2 Подготовка презентаций и конспекта	21
3.3 Подготовка видеолекций	22
3.3.1 Запись и обработка видеоматериалов	22
3.3.2 Подготовка субтитров	23
3.4 Домашние задания и экзамен	23
3.5 Общение со слушателями	24
Заключение	24

Предисловие

Несколько лет назад курсы дистанционного образования на платформе [Coursera](#) буквально взорвали мировую вузовскую общественность. Учиться в Стэнфорде у ведущих специалистов, находясь за тысячи километров – превратилось из мечты в реальность.

Эта возможность заинтересовала и меня. Я записалась на несколько курсов. Когда они начались одновременно, то достаточно быстро пришло понимание, что у меня технически нет времени, чтобы учиться на них всех. Поэтому был оставлен только курс профессора Д. Ульмана “Теория автоматов”. Курс по теории автоматов взволновал меня невероятно. Он был очень грамотно структурирован. В нем были потрясающе организованы и составлены домашние задания. Он будил воображение и порождал желание попробовать самой разработать дистанционный курс. Некоторое время я не возвращалась этому вопросу, видимо интуитивно предполагая его сложность.

Профессор Юрий Глебович Карпов много лет читает курс “Математическая логика” в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. Это очень самобытный курс. Основная его цель – ввести знания законов математической логики в ежедневный обиход современного инженера.

В этом курсе профессор Карпов обращается к одной из ключевых проблем математики: математические открытия трудно, а иногда невозможно, объяснить простым языком. Но поскольку математика чрезвычайно помогает людям структурировать знание о мире, то всякая попытка включения математических знаний в ежедневную профессиональную практику должна быть признана необходимой. Курс профессора Карпова позволяет сделать использование математической логики столь же естественным, сколь знание арифметики. И именно такой курс, как кажется, должен стать дистанционным.

Цель этого отчета – поделиться опытом подготовки дистанционного курса “Математическая логика” на [национальной платформе](#) дистанционного образования.

До начала проекта члены нашей команды не имели никакого опыта в подготовке дистанционных курсов, не представляли трудозатрат, не знали подводных камней (опыт моего бытия учеником Стэнфорда не в счет). Чтобы восполнить эти пробелы, и подготовлен данный отчет. Он не претендует ни на полноту, ни на абсолют своих тезисов. В нем изложены основные этапы и особенности подготовки дистанционных курсов, которые стали понятны по результатам нашего проекта¹.

Автор выражает благодарность профессору Юрию Глебовичу Карпову, согласившемуся быть частью этого сумбурного эксперимента, доктору Алле Юрьевне Карповой за своевременную помощь в приобретении пакета Camtasia, доценту кафедры РВКС Петру Владимировичу Трифонову за локальную поддержку хранилища видеофайлов, доценту Екатерине Евгеньевне Абушовой за постоянные консультации по техническим особенностям национальной платформы, доценту Светлане Владимировне Калмыковой за стремление сглаживать углы. Также автор благодарит слушателей курса за то, что они сумели справиться с трудностями дистанционного образования.

Ирина Владимировна Шошмина
Март 2016

¹Все названия товарных знаков, используемые в отчете, являются собственностью их правообладателей

Глава 1

До начала проекта

В данной главе коротко описывается материал и опыт, имевшиеся до начала проекта.

1.1 Состояние курса

Курс “Математическая логика” читается профессором Юрием Глебовичем Карповым более 20 лет. За это время наработано немало материала.

Полный курс составляет 17 недель, т. е. 1 семестр. 1 учебная пара отводится на лекции, одна – на практические занятия, кроме этого имеется курсовая работа. Для каждой лекции имеется презентация в формате MS PowerPoint. Каждая презентация содержит в среднем около 60 слайдов. Т. о. общий объем презентаций до начала проекта был около 1100 слайдов.

Структура лекций до начала проекта:

Лекция 1. Двоичные функции - функции алгебры логики

Лекция 2. Двоичные функции – формы представления, минимизация

Лекция 3. Двоичные функции – базисы

Лекция 4. Применения двоичных функций

Лекция 5. Двоичные функции – BDD

Лекция 6. Конечные автоматы

Лекция 7. Логика – наука о законах мышления

Лекция 8. Логический вывод в логике высказываний

Лекция 9. Логика предикатов (логика первого порядка)

Лекция 10. Логический вывод в логике предикатов и язык Пролог

Лекция 11-12. Индуктивный метод Флойда-Хоара верификации программ

Лекция 13. Аксиоматические теории

Лекция 14. Теорема Геделя

Лекция 15. Темпоральные логики

Лекция 16. Верификация реагирующих программ

Лекция 17. Алгоритмически неразрешимые проблемы

Материал лекций подробно описан в книгах Ю.Г. Карпова “Теория автоматов” [1] и “Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем” [2].

Для практических занятий проф. Ю. Г. Карпов разработал задачник “Математическая логика” с более чем 250 задачами.

Несколько домашних заданий курса были автоматизированы в системе [Gradiance](#), поддерживаемой командой профессора Д. Ульмана.

1.2 Участники проекта

1. профессор Юрий Глебович Карпов – создатель курса “Математическая логика”, читаемого локально в СПбПУ, соавтор дистанционного варианта этого курса. В дистанционном курсе он занимался составлением структуры курса, подготовкой презентаций лекций, записью видеолекций;
2. старший преподаватель Ирина Владимировна Шошмина – соавтор дистанционного курса “Математическая логика”. В дистанционном курсе занималась пред- и постобработкой видеозаписей, составлением структуры курса, подготовкой конспектов, составлением домашних заданий, ответами на вопросы в обсуждении, вводом материалов курса на платформу;
3. студентка 5-ого курса Зоя Архипова обрабатывала видеоматериалы;
4. съемочная группа под руководством Евгения Быкова готовила презентационный ролик к курсу.

1.3 Требования к проекту

Требования к проекту были изложены в “Методических инструкциях по разработке онлайн-курсов, публикуемых на национальном портале открытого образования”, разработанных Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого в 2015 году. Основные разделы этого документа относились к следующим элементам курса: аннотация, информация об авторах, регламентировали качество видео- и аудиоматериалов; а также рекомендовали разбивать курс на блоки. На длительность курса было установлено ограничение в 13 недель.

Глава 2

Учебно-методическая часть проекта

В этом разделе представлена структура курса, получившаяся в результате выполнения проекта, и методические аспекты проекта.

2.1 Содержание курса

1. Мотивация изучения математической логики (47:01)
 - 1-а Что такое математическая логика? (22:32)
 1. Что такое математическая логика? (16:14)
 2. Структура курса (6:51)
 3. Презентация “Что такое математическая логика” (pdf) – 24 слайда
 - 1-б Мотивация (24:29)
 1. Проблема вычисления значения двоичной функции (04:29)
 2. Динамические структуры и двоичные функции (02:07)
 3. Логические эквивалентность, следствие и вывод (05:50)
 4. Формулировки занимательных задач (02:55)
 5. Логика и интеллект (искусственный и не только, 04:22)
 6. Логика и верификация программ (4:46)
 7. Презентация “Мотивация изучения математической логики” (pdf) – 25 слайдов
 - 1-с Конспект “Формальные модели и реальные явления”
2. Булевы функции (1:22:09)
 - 2-а Двоичные функции как конечные функциональные преобразователи (19:00)
 1. Двоичные функции и конечные функциональные преобразователи (7:41)
 2. Построение схемы отображения электронных часов (11:19)
 3. Презентация “Двоичные функции как конечные функциональные преобразователи” (pdf)– 15 слайдов
 - 2-б Двоичные функции и логические формулы (31:16)
 1. Двоичные функции от 1-ой, 2-х переменных (12:38)
 2. Двоичные функций от n переменных. Формулы (12:05)
 3. Семантическое дерево двоичной функции (6:33)

- 4. Презентация “Двоичные функции и логические формулы” (pdf) – 23 слайда
- 2-с Основная теорема теории двоичных функций (31:53)
 - 1. Переход между разными формами представления двоичных функций (5:41)
 - 2. Проблема описания двоичных функций формулами. Формулировка основной теоремы (6:33)
 - 3. Свойства двоичных функций (11:42)
 - 4. Лемма Шеннона и доказательство основной теоремы (8:24)
 - 5. Значение основной теоремы (8:37)
 - 6. Презентация “Основная теорема теории двоичных функций” (pdf) – 28 слайдов
- 2-d Конспект “Булевы функции” (pdf)
- 3. Нормальные формы представления булевых функций (1:32:23)
 - 3-а ДНФ, КНФ и полином Жегалкина (29:02)
 - 1. Дизъюнктивная нормальная форма (7:15)
 - 2. Конъюнктивная нормальная форма (7:29)
 - 3. Суммаризация нормальных форм. Полином Жегалкина (8:11)
 - 4. Переход между нормальными формами (6:47)
 - 5. Презентация “ДНФ, КНФ и полином Жегалкина”.pdf – 22 слайда
 - 3-б Минимизация булевых функций (42:43)
 - 1. Актуальность задачи минимизации булевых функций (4:37)
 - 2. Карты Карно (8:09)
 - 3. Карты Карно от 4-х переменных (6:57)
 - 4. Примеры минимизации для электронных часов и варочной плиты (8:24)
 - 5. Минимизация КНФ. Код Грея (10:13)
 - 6. Карты Карно от 5-ти, 6-ти переменных (4:23)
 - 7. Презентация “Минимизация булевых функций”.pdf – 18 слайдов
 - 3-с Реализация двоичных функций (20:38)
 - 1. Двоичные функции как механизм абстракции (4:02)
 - 2. Электромеханические реле как реализация двоичных функций (6:44)
 - 3. Управляемые вентили (необязательная лекция, 9:52)
 - 4. Презентация “Реализация двоичных функций”
 - 3-d Конспект “Нормальные формы представления булевых функций” (pdf) – 25 слайдов
- 4. Теорема Поста (1:03:42)
 - 4-а Функционально полные множества (11:52)
 - 1. Функционально полные множества, базисы (5:08)
 - 2. Замкнутые классы двоичных функций (6:44)
 - 3. Презентация “Функционально полные множества”.pdf – 14 слайдов
 - 4-б Идеи Э. Поста по построению функционально полных множеств (16:57)
 - 1. Задачи, связанные с понятием функционально полных множеств (5:22)
 - 2. Суперпозиция функций. Идеи Поста (5:01)
 - 3. Замкнутые классы двоичных функций Поста (6:34)
 - 4. Презентация “Идеи Э. Поста по построению функционально полных множеств”.pdf – 21 слайд

- 4-с Теорема Поста. Доказательство (34:53)
 - 1. Доказательство необходимого условия теоремы Поста (7:15)
 - 2. Достаточное условие теоремы Поста. Шаг 1 (8:31)
 - 3. Достаточное условие теоремы Поста. Шаги 2 и 3 (6:16)
 - 4. Примеры применения теоремы Поста (5:47)
 - 5. Как построить базис с помощью теоремы Поста (7:00)
 - 6. Презентация “Теорема Поста”.pdf – 27 слайдов
- 4-d Конспект “Теорема Поста” (pdf)
- 5. Применение булевых функций (20:51) зо
 - 5-a Применение булевых функций (20:51)
 - 1. Релейно-контактные схемы и двоичные функции (9:14)
 - 2. Построение цифровой аппаратуры (7:15)
 - 3. Система управления проходом в метро (4:22)
 - 4. Презентация “Применение булевых функций”.pdf – 21 слайд
 - 5-b Конспект “Применение булевых функций” (pdf)
- 6. Бинарные решающие диаграммы (01:18:37)
 - 6-a BDD - бинарные решающие диаграммы (26:10)
 - 1. Экспоненциальный рост представлений двоичных функций (8:24)
 - 2. BDD - эффективный способ представления двоичных функций (10:36)
 - 3. Бинарные операции над BDD (7:10)
 - 4. Презентация “BDD - бинарные решающие диаграммы”.pdf – 24 слайда
 - 6-b Применение BDD (20:14)
 - 1. Прямое применение BDD (9:37)
 - 2. BDD и аппаратные схемы (6:05)
 - 3. “Непрямое” использование BDD (4:32)
 - 4. Презентация “Применение BDD”.pdf – 24 слайда
 - 6-с Символьные вычисления (32:13)
 - 1. Символьное представление множеств и операции над ними (10:59)
 - 2. Операции над характеристическими функциями отношений (08:36)
 - 3. Пример с отношением на множестве (03:26)
 - 4. Символьное представление конечных функций (03:51)
 - 5. Символьный алгоритм решения проблемы достижимости (05:21)
 - 6. Презентация “Символьные вычисления”.pdf – 20 слайдов
 - 6-d Конспект “Бинарные решающие диаграммы” (pdf)
- 7. Конечные автоматы и их применение (01:55:15)
 - 7-a Конечный автомат как модель поведения (27:12)
 - 1. Конечный автомат как преобразователь информации с памятью (12:12)
 - 2. Примеры конечных автоматов (10:58)
 - 3. Формальное определение конечных автоматов (04:02)
 - 4. Презентация “Конечный автомат как модель поведения”.pdf – 18 слайдов
 - 7-b Программная и аппаратная реализации конечных автоматов (10:36)

1. Программная реализация конечных автоматов (05:49)
 2. Аппаратная реализация конечных автоматов (04:47)
 3. Презентация “Программная и аппаратная реализации конечных автоматов”.pdf – 15 слайдов
- 7-с Применение конечных автоматов (51:56)
1. Автомат по продаже кофе и программа выбрасывания пробелов (13:01)
 2. Системы управления м/в печкой, часами, микрокалькулятором (12:44)
 3. “Однорукий бандит” (06:32)
 4. Интеллектуальная лампа и мобильный телефон (06:21)
 5. Протокол двухфазного соглашения (06:12)
 6. Протокол выбора лидера (07:17)
 7. Презентация “Применение конечных автоматов”.pdf – 36 слайдов
- 7-d Клеточные автоматы (25:32)
1. Клеточные автоматы как конечные автоматы (05:54)
 2. Клеточные автоматы и новая наука С. Вольфрама (09:19)
 3. Применение клеточных автоматов (10:19)
 4. Презентация “Клеточные автоматы”.pdf – 34 слайда
- 7-е Конспект “Конечные автоматы и их применение” (pdf)
8. Основные понятия логики высказываний (2:07:48)
- 8-a Синтаксис и семантика логики высказываний (37:38)
1. Абстрагирование в логике высказываний (06:14)
 2. Синтаксис логики высказываний (07:10)
 3. Семантика логики высказываний (05:06)
 4. Типы логических формул (03:31)
 5. Преобразование высказываний естественного языка в формулы (09:59)
 6. Схема решения задач с помощью логики высказываний (05:38)
 7. Презентация “Синтаксис и семантика логики высказываний”.pdf – 35 слайдов
- 8-b Анализ и преобразование сложных высказываний (27:11)
1. Проверка высказываний на общезначимость (06:22)
 2. Эквивалентные преобразования высказываний (10:49)
 3. Упрощение сложных высказываний (06:55)
 4. Задача про стражников (03:05)
 5. Презентация “Анализ и преобразование сложных высказываний”.pdf – 28 слайдов
- 8-с Доказательства математических теорем (25:12)
1. Что такое структура доказательства (03:40)
 2. Использование эквивалентных формулировок теорем в доказательствах (08:24)
 3. Теоремы о необходимости и достаточности (06:34)
 4. Конъюнкция утверждений как способ упростить структуру доказательства (06:34)
 5. Презентация “Доказательства математических теорем”.pdf – 23 слайда
- 8-d Логическое следствие из фактов (22:45)
1. Максимальное сильное логическое следствие (08:05)

2. Принцесса, тигр и инспектор Крейг (06:28)
 3. Задачи с “неочевидными” фактами (08:12)
 4. Презентация “Логическое следствие из фактов”.pdf – 20 слайдов
- 8-е Интеллектуальный робот-сапер (15:02)
1. Формализация задачи о роботе-сапере (04:46)
 2. Алгоритм действий робота-сапера (10:16)
 3. Презентация “Интеллектуальный робот-сапер”.pdf – 16 слайдов
- 8-f Конспект “Основные понятия логики высказываний”.pdf
9. Логический вывод в логике высказываний (02:39:25)
- 9-a Логическое следствие и умозаключения (36:16)
1. Силлогизмы и “новое знание” (11:11)
 2. Проверка “правильности” схемы умозаключения по таблице истинности (04:58)
 3. Примеры проверки “правильности” схем умозаключений (08:46)
 4. Тривиальные и неправильные схемы умозаключений (05:55)
 5. Задача Порецкого о птицах - пример задачи с 4-мя переменными (04:26)
 6. Презентация “Логическое следствие и умозаключения”.pdf – 31 слайд
- 9-b Логический вывод (23:15)
1. Основная теорема логического вывода (08:47)
 2. Формулировка основной теоремы логического вывода через невыполнимую формулу (05:04)
 3. Проверка “правильности” схемы умозаключения через КНФ или ДНФ (09:24)
 4. Презентация “Логический вывод”.pdf – 19 слайдов
- 9-c Метод резолюции (37:15)
1. Метод резолюции. Основные понятия (09:25)
 2. Использование метода резолюции (05:18)
 3. Непротиворечивость и полнота метода резолюции (03:39)
 4. Интерпретация резолютивного вывода на естественном языке (08:24)
 5. Хорновские дизъюнкты в примере из химии (07:45)
 6. Силлогизмы и метод резолюций (02:44)
 7. Презентация “Метод резолюции”.pdf – 24 слайда
- 9-d Проблема выполнимости (56:19)
1. Формулировка проблемы выполнимости SAT (12:34)
 2. Практические задачи как задачи SAT (08:57)
 3. Методы решения задачи SAT (07:57)
 4. SAT CNF (08:15)
 5. Алгоритм DPLL (07:22)
 6. Частные случаи задачи SAT (11:14)
 7. Презентация “Проблема выполнимости”.pdf – 38 слайда
- 9-e Ограничения в применении логического вывода (16:20)
1. Проблема адекватности формализации на примере задачи Кислера (08:49)
 2. Когда логический вывод “не работает”? (07:31)
 3. Презентация “Заклучение. Ограничения в применении логического вывода”.pdf – 12 слайдов

9-f Конспект “Логический вывод в логике высказываний”.pdf

10. Введение в логику предикатов (02:09:56)

10-a Основные определения логики предикатов (01:05:07)

1. Ограниченность логики высказываний при формализации объектов реального мира (08:59)
2. Синтаксис логики предикатов (10:07)
3. Разбор структуры предикатной формулы (05:55)
4. Формализация информации с помощью логики предикатов (05:27)
5. Кванторы и область их действия (07:43)
6. Использование логики предикатов в примерах (13:05)
7. Семантика логики предикатов (09:40)
8. Примеры эквивалентных преобразований формул логики предикатов (04:11)
9. Презентация “Основные определения логики предикатов”.pdf – 38 слайдов

10-b Эквивалентность формул логики предикатов (21:53)

1. Определение эквивалентности (равносильности) формул логики предикатов (07:13)
2. Примеры известных равносильных и неравносильных формул логики предикатов (08:18)
3. Общезначимые и невыполнимые формулы в логике предикатов (06:22)
4. Презентация “Эквивалентность формул логики предикатов”.pdf – 14 слайдов

10-c Ограниченные кванторы (43:56)

1. Определение ограниченных кванторов (11:44)
2. Эквивалентные преобразования с ограниченными кванторами (08:15)
3. Примеры формализации с использованием ограниченных кванторов (09:18)
4. Мир вампуса и ограниченные кванторы (04:54)
5. Закон о продаже оружия и ограниченные кванторы (04:39)
6. Математические определения и ограниченные кванторы (05:06)
7. Презентация “Ограниченные кванторы”.pdf – 28 слайдов

10-d Конспект “Введение в логику предикатов”.pdf

11. Логический вывод в логике предикатов (01:30:57)

11-a Аристотелева силлогистика (24:25)

1. “Правильные” и “неправильные” умозаключения в логике предикатов (04:34)
2. Категорические силлогизмы Аристотеля (12:39)
3. Постановка задачи логического вывода в логике предикатов (07:12)
4. Презентация “Аристотелева силлогистика”.pdf – 23 слайда

11-b Метод резолюции в логике предикатов (44:26)

1. Особенности метода резолюции в логике предикатов (08:52)
2. Предваренная нормальная форма (03:18)
3. Сколемовская форма формул логики предикатов (05:38)
4. Унификация атомарных предикатов (12:33)
5. Примеры с методом резолюций в логике предикатов (13:15)
6. Презентация “Метод резолюции в логике предикатов”.pdf – 30 слайдов

11-c Примеры применения метода резолюций (35:36)

1. Силлогизм Barbara и бурундукотигр (06:34)
 2. Пациенты и знахари (04:18)
 3. Пара задач с математическими объектами (07:59)
 4. Парадокс Эпименида (05:27)
 5. Мир вампуса и метод резолюции в логике предикатов (11:18)
 6. Запрос к базе данных и метод резолюции (07:30)
 7. Презентация “Примеры применения метода резолюции”.pdf – 28 слайдов
- 11-d Язык логического программирования ПРОЛОГ (22:06)
1. Структура программы на ПРОЛОГе (10:39)
 2. Программа определения родства на ПРОЛОГе (04:40)
 3. Несколько программ на ПРОЛОГе (06:47)
 4. Презентация “Язык логического программирования ПРОЛОГ”.pdf – 23 слайда
- 11-e Конспект “Логический вывод в логике предикатов”.pdf
12. Аксиоматические теории (54:22)
- 12-a Аксиоматические теории. Исчисление высказываний (54:22)
1. Необходимость формализации математических доказательств (10:55)
 2. Основные компоненты аксиоматической теории (06:36)
 3. Примеры аксиоматических теорий (07:41)
 4. Аксиоматическая теория Гильберта исчисления высказываний (07:49)
 5. Свойства аксиоматических теорий (10:24)
 6. Свойства аксиоматической теории Гильберта исчисления высказываний (04:47)
 7. Условные выполнимость и выводимость (07:10)
 8. Презентация “Аксиоматические теории. Исчисление высказываний”.pdf – 36 слайдов
13. Дедуктивная верификация программ (02:28:09)
- 13-a Программа как преобразователь предикатов (40:18)
1. Верификация - метод обеспечения качества программ (04:58)
 2. Разница между тестированием и верификацией (05:06)
 3. Постановка задачи верификации программ (07:22)
 4. Частичная и тотальная корректность программы (05:18)
 5. Сильнейшее постусловие программы (10:10)
 6. Слабейшее предусловие программы (07:24)
 7. Презентация “Программа как преобразователь предикатов”.pdf – 26 слайдов
- 13-b Как строить и использовать слабейшее предусловие (41:21)
1. Проблема построения слабейшего предусловия (05:56)
 2. Слабейшее предусловие для оператора присваивания (10:05)
 3. Слабейшее предусловие для оператора выбора (06:06)
 4. Индуктивный метод Флойда (07:30)
 5. Доказательство корректности ациклических программ (04:44)
 6. Презентация “Как строить и использовать слабейшее предусловие”.pdf – 25 слайдов
- 13-c Примеры проверки корректности программ (38:02)
1. Инварианты цикла (06:00)

2. Задача о кофейных зернах и игры со спичками (09:12)
 3. Инварианты циклов в задачах о вагонах и хамелеонах (06:12)
 4. Инварианты в вычислительных программах (05:22)
 5. Замечание о программировании по контракту (02:05)
 6. Аксиоматический метод верификации программ А. Хоара (09:11)
 7. Презентация “Примеры проверки корректности программ”.pdf – 29 слайдов
- 13-d Практическое применение дедуктивной верификации (28:28)
1. О сложности дедуктивной верификации (07:52)
 2. Разработка программ корректных по построению (05:12)
 3. Задача о голландском флаге (08:21)
 4. Метод Флойда и тестирование (07:03)
 5. Презентация “Практическое применение дедуктивной верификации”.pdf – 29 слайдов
14. Проверка корректности реагирующих программ (04:12:19)
- 14-a Необходимость верификации реагирующих систем (29:44)
1. О проблеме корректности программных систем управления (05:45)
 2. Финансовые потери от программных ошибок (06:07)
 3. Несет ли программист ответственность за человеческие жизни? (07:29)
 4. Трудность доказательства корректности реагирующих систем (05:54)
 5. Метод проверки модели (04:29)
 6. Презентация “Необходимость верификации реагирующих систем”.pdf – 33 слайда
- 14-b Модель представления реагирующих систем (37:25)
1. Реагирующие системы (09:58)
 2. Программа как система переходов (06:08)
 3. Интерливинг в параллельных программах (06:30)
 4. Параллелизм - источник сложности анализа реагирующих систем (05:20)
 5. Проблема взаимно исключаящего доступа (07:40)
 6. Абстрагирование при моделировании реагирующих систем (01:49)
 7. Презентация “Модель представления реагирующих систем”.pdf – 22 слайда
- 14-c Линейная темпоральная логика (47:54)
1. Требования, зависящие от времени (07:02)
 2. Модальности (04:22)
 3. Временная логика (08:00)
 4. Линейная темпоральная логика. Синтаксис (10:00)
 5. Семантика формул LTL (09:02)
 6. Выражение свойств систем в LTL (09:28)
 7. Презентация “Линейная темпоральная логика”.pdf – 29 слайдов
- 14-d Логика ветвящегося времени (33:54)
1. Время: линейное или ветвящееся? (05:10)
 2. Структура Крипке (06:50)
 3. CTL - логика ветвящегося времени (06:04)
 4. CTL. Базовые операторы (08:29)
 5. Семантика CTL формул (07:21)

6. Презентация “Логика ветвящегося времени”.pdf – 20 слайдов

14-e Алгоритм проверки выполнимости для CTL (56:53)

1. Проверка модели CTL формул (07:14)
2. Идея алгоритма проверки модели для CTL (06:58)
3. Базисы CTL (05:43)
4. Алгоритм маркировки состояний подформулами CTL I (06:37)
5. Алгоритм маркировки состояний подформулами CTL II (10:17)
6. Пример проверки выполнимости формулы CTL (06:42)
7. Проверка корректности системы управления микроволновой печью (06:41)
8. Резюме по методу проверки модели для CTL (07:11)
9. Презентация “Алгоритм проверки выполнимости для CTL”.pdf – 27 слайда

14-f Современное состояние метода проверки модели (46:19)

1. BDD vs взрыв числа состояний при верификации (04:15)
2. Представление структуры Крипке с помощью BDD (06:24)
3. Идея компиляции структуры Крипке по программе (11:48)
4. Символьные алгоритмы проверки выполнимости темпоральных формул (08:30)
5. Пример индустриального использования метода проверки модели (06:16)
6. Общая характеристика достижений метода проверки модели (05:02)
7. Примеры верификации программ в Политехе (04:04)
8. Презентация “Современное состояние метода проверки модели”.pdf – 40 слайдов

14-g Конспекты к разделу “Проверка корректности реагирующих программ”

Итого, в курс вошли 196 видеороликов общей длительностью 24 часа 23 минуты. Эти лекции сопровождаются 13 конспектами и 47 презентациями. Общее число слайдов в презентациях 1180.

Особенности структуры лекций дистанционного курса составляют: 1) высокая грануляция материала – каждый значимый смысловой элемент лекции должен быть сформулирован явно (в приведенной структуре курса выше каждая лекция содержит несколько элементов), 2) каждый элемент лекций должен быть оценен по сложности и объему (в нашем случае, хотя бы по размеру видеоролика); 3) четкий темп подачи материала – необходимо отслеживать и равномерно распределять элементы лекций по неделям. Крайне желательно, чтобы при завершении раздела курса в ту же неделю не начинался другой раздел. (В этом случае слушатель не перегружен и легче воспринимает материал, а преподавателю проще расставлять домашние задания.)

Из нашего опыта, учесть все эти аспекты сразу не удастся, поэтому необходимо выполнить несколько итераций составления структуры курса, каждый раз уточняя элементы курса.

2.2 Практические занятия

В нашем случае элементы практических занятий были включены в лекции. Т. е. разбор задач осуществлялся в лекциях очень подробно (подробнее, чем на локальных лекциях). В результате длительность лекций увеличилась, презентации изменились.

По нашему мнению, видео с разбором задач даже более значимо, чем видео с изложением основных понятий предмета.

2.3 Содержание домашних заданий и экзамена

Домашние задания и экзамены содержали задачи на следующие темы.

1. Домашнее задание 1

1-а Задачи раздела “Булевы функции”

1. Синтаксис булевых функций
2. Проверка выполнимости булевых функций
3. Проверка выполнимости булевых функций
4. Номера булевых функций
5. Построение СДНФ и СКНФ булевых функций

2. Домашнее задание 2

2-а Задачи к разделам “Нормальные формы представления булевых функций”, “Теорема Поста”, “Бинарные решающие диаграммы”

1. Построение полинома Жегалкина
2. Построение минимальных ДНФ с помощью карт Карно
3. Построение базисов из заданного набора двоичных функций
4. Построение бинарных решающих диаграмм

3. Домашнее задание 3

3-а Задачи к разделам “Основные понятия логики высказываний”, “Логический вывод в логике высказываний”

1. Формализация высказываний с импликацией
2. Формализация простых высказываний с импликацией и проверка их выполнимости
3. Минимизация правил с помощью карты Карно
4. Поиск наиболее сильного логического следствия с помощью таблицы истинности для задач, сформулированных на естественном языке
5. Поиск наиболее сильного логического следствия с помощью таблицы истинности для задач, сформулированных на естественном языке, с “неочевидными” фактами
6. Подготовка задачи на естественном языке к резолютивному выводу для проверки корректности умозаключения
7. Проверка вывода в методе резолюции

4. Домашнее задание 4

4-а Задачи к разделам “Введение в логику предикатов”, “Логический вывод в логике предикатов”

1. Определение типа категорического силлогизма для умозаключений, сформулированных на естественном языке
2. Определение множества истинности предикатов
3. Формализация высказываний с помощью ограниченных кванторов
4. Поиск эквивалентных предикатов, заданных с ограниченными кванторами
5. Поиск эквивалентных высказываний, формализуемых с ограниченными кванторами
6. Построение предваренной нормальной формы предиката
7. Поиск наибольшего общего унификатора предикатов

4-b Задачи к разделам “Логический вывод в логике предикатов”

1. Определить предикаты, формализующие высказывания на естественном языке
2. Определить предикаты в предваренной нормальной форме
3. Определить предикаты в Сколемовской стандартной форме
4. Определить предикаты, приведенные к КНФ
5. Построить резолютивный вывод из заданного набора предикатов

5. Домашнее задание 5

5-а Задачи к разделам “Дедуктивная верификация программ”, “Проверка корректности реагирующих программ”

1. Построение наислабейшее предусловие для последовательных программ
2. Доказательство корректности программы с циклом при помощи построения наислабейшего предусловия при помощи проверки корректности инварианты, каждой из 4-х теорем
3. Проверка выполнимости LTL-формул на заданных (при помощи определения формальной семантики)
4. Проверка выполнимости CTL-формулы на заданной структуре Крипке

6. Экзамен

6-а Экзамен

1. Логика высказываний. Минимизация правил
2. Логика высказываний. Проверка логических следствий из заданного набора фактов при помощи таблицы истинности
3. Логика предикатов. Использование ограниченных кванторов при формализации выражений естественного языка
4. Логика предикатов. Проверка корректности умозаключений на естественном языке при помощи логического вывода
5. Программная логика Флойда-Хоара. Построение наислабейшего предусловия для последовательных программ и для программ с оператором выбора
6. Темпоральные логики. Проверка разницы синтаксиса CTL и LTL формул
7. Проверка выполнимости LTL-формул на заданных (при помощи определения формальной семантики)
8. Проверка выполнимости CTL-формулы на заданной структуре Крипке

Итого, вместе с экзаменом в курс вошли 44 задачи.

2.3.1 Составление задач

Выбор одной задачи домашнего задания адекватной сложности занимает 4 часа. Подготовка задачи к виду необходимому для дистанционного образования отнимает около 4 часов. Для экзамена подбор одной задачи отнимал 8-10 часов. (Потому, что подбиралась задача и ее представление такое, чтобы, по возможности, ответ не содержал формул. Сделано это было для того, чтобы облегчить слушателю сверку решений. Очевидно, что чем сложнее представлено решение, тем выше сложность его просмотра и проверки, и тем выше вероятность ошибки по невнимательности. С другой стороны, ответы к экзамену должны быть такими, что их нельзя получить, например, решив задачу при помощи какого-нибудь пакета. Из-за этого ограничения сложность составления экзаменационных задач выше, чем домашних.)

Вопрос каждой задачи строился таким образом, чтобы множество правильных решений имело размер больше 1, и отношение числа правильных и неправильных ответов было хотя бы 1:4. Такой вопрос Д. Ульман предложил называть “коренным вопросом” “Инструкция для авторов Gradiance”.

Слушателю предоставляется несколько решений из множества решений задачи, например, 5, где только одно решение является правильным. Это подмножество генерируется платформой случайно. Задачи формируются в одно домашнее задание. Если пользователь неправильно решил какую-то задачу из домашнего задания, то он может повторно выполнить домашнее задание. При этом ему загружаются те же самые задачи, но с другими ответами (из-за случайности выбора решений). Если правильный ответ в предыдущей попытке пользователя был случайностью (он просто ткнул в некий ответ), то в следующей попытке он необязательно увидит этот ответ в списке решений, выведенных платформой. Если же его ответ был получен честным решением задачи, тогда пользователю не надо решать заново задачу, он выбирает “новый” правильный ответ в соответствии с имеющимся у него решением.

В нашем случае домашние задания можно было сдавать бесконечное количество раз до заданного срока. В качестве окончательной оценки за домашнее задание платформой выбирается лучшая попытка слушателя. Таким образом, основной целью домашнего задания считалась возможность тренироваться, чтобы научиться решать задачи (естественно, для тех, кто хотел учиться). Для контроля знаний использовался экзамен. Экзамен можно было сдавать один раз, ограничение на его длительность на платформе нам установить не удалось.

Общая методика составления задачи с коренным вопросом такова:

- определиться, что вы хотите проверить (чем уже проверяемый навык, тем понятнее слушателю задача);
- проанализировать, какое пространство решений при этом могло бы быть (за счет чего, оно уменьшается, увеличивается);
- проанализировать, что в этом пространстве дает множественный правильный ответ и множественный неправильный ответ, т. е. убедиться, что в пространстве можно набрать необходимое число правильных и неправильных ответов (если требуется проверить неправильные ответы из определенных категорий, тогда необходимо убедиться, что в этих категориях пространство решений дает нужное число ответов);
- подобрать задачу, дающую необходимое пространство решений (тут есть трудность, особенно для задач с бинарными векторами в ответах, задача не должна быть слишком простой и слишком сложной);
- сформулировать вопрос (зачастую получается так, что формулировка вопроса вынуждает требовать представления решений в определенном, фиксированном формате, иначе их не проверить автоматически);
- выписать правильные и неправильные решения в том виде, в котором они будут вводиться в автоматическую систему проверки;
- ввести в систему (мною при этом проводилась окончательная редакция формулировки задачи, вопроса, формата представления);
- для каждого неправильного ответа придумать объяснение, позволяющее слушателю самостоятельно обнаружить ошибку.

Когда требовалось проверить не конкретное значение, получаемое в задаче, а алгоритм, по которому она была решена, то пространство решений строилось для алгоритма.

Из наших ошибок, или на что следует обратить внимание:

1. условия задач должны быть составлены так, что слушатели их понимали однозначно;
2. задачи должны полностью совпадать с описанием алгоритма или метода в лекции;
3. предположения по умолчанию, неявные ссылки — зло для дистанционных курсов, здесь надо говорить всё прямо;
4. задачи следует проверять на опечатки многократно;

5. домашние задания должны идти еженедельно, в идеале хорошо иметь еще дополнительные неоцениваемые домашние задания, на которых слушатели могли бы тренироваться;
6. желательно, чтобы представление решения, необходимое для проверки задачи автоматически, совпадало бы с представлением в лекциях.

2.3.2 Система оценивания и статистика

За каждую правильно выполненную задачу давался один бал. Срок домашних заданий был 2 недели.

Позже, по просьбам слушателей, можно было сдать домашнее задание и после срока, но со штрафными баллами. Это аналогично мягкому и строгому сроку сдачи, используемому во многих учебных заведениях. Мягкий срок – срок сдачи без штрафных санкций. После мягкого срока можно сдать задание, но со штрафом до строгого срока. После строгого срока сдать задание нельзя. У нас строгий срок был установлен до конца 13-ой недели.

Для допуска к экзамену слушатель должен был сдать домашние задания правильно на 60%, если он сдавал их в мягкий срок, или на 100%, если он сдавал их после мягкого срока. (Опять же, памятуя про неограниченность попыток, ясно, что даже после мягкого срока можно было получить допуск к экзамену.)

Экзамен необходимо решить правильно на 70%. Для экзамена давалась 1 попытка. Длительность экзамена не удалось ограничить при помощи платформы. Срок сдачи экзамена был установлен в 1 неделю.

Диплом выдавался тем слушателям, которые набрали за домашнее задание и экзамен выше 66% баллов ($0.4 \cdot 0.6 + 0.6 \cdot 0.7 = 0.66$).

На момент конца записи на курс было 5501 слушателей. На момент завершения курса осталось 5080 слушателей. Количество слушателей, выполнивших домашние задания с оценкой выше 0, – 237.

Количество слушателей, успешно прошедших аттестацию по домашним заданиям и допущенных к сдаче экзамена, – 50. Количество слушателей, успешно выполнивших экзамен и получивших сертификаты, – 28. Количество слушателей, выполнивших и домашнее задание и экзамен на 100%, - 7.

2.3.3 Некоторые отзывы слушателей

Здесь привожу отзывы слушателей, характеризующие курс в целом.

“Большое спасибо Вам и Юрию Глебовичу за курс. Было очень интересно. Училась для себя, задачи решала с удовольствием.”

“ Спасибо Вам большое за помощь и курс. Я сдал экзамен. Правда с одной ошибкой. Очень рад сдаче! Курс для меня показался тяжёлым в основном из-за большого объёма абсолютно новой для меня информации в короткое время. Информацию воспринимать иногда было нелегко. Общее впечатление от курса превосходное. Планирую поступать к вам в Политех на заочку, поэтому и записался на курс.”

“И вам спасибо (за курс). Я, записываясь на этот курс, даже не подозревал, во что это выльется. Если бы я заранее знал объем курса, то не факт, что решился бы на это. Я получил столько новой интересной информации!”

“Я занимаюсь аналитикой в ИТ компании. Как только появлялась трудная задача, мне приходилось прибегать к услугам матерых математиков-логиков, чтобы они помогли мне с выбором того или иного решения. Но в одном направлении я так и не нашел спецов - в описании активности предприятия. Все нотации, известные мне, не подходят с самых первых же посылок. Поэтому пришлось осваивать инструмент матлогики самостоятельно. И я не пожалел! Уже с самого начала курса такая возможность, как минимизация высказываний, меня просто поразила!”

2.4 Расписание курса

Курс длился 13 недель. Перечислим по неделям материалы, которые были опубликованы в каждую неделю:

- 1-я неделя** материалы к лекциям 1-a, 1-b, 1-c, 2-a;
- 2-я неделя** материалы к лекциям 2-b, 2-c, 2-d, 3-a, 3-d, домашнее задание 1;
- 3-я неделя** материалы к лекциям 3-b, 3-c, 4-a, 4-b, 4-c, 4-d;
- 4-я неделя** материалы к лекциям 5-a, 5-b, 6-a, 6-b, 6-c, 6-d, домашнее задание 2;
- 5-я неделя** материалы к лекциям 7-a, 7-b, 7-c, 7-d, 7-e;
- 6-я неделя** материалы к лекциям 8-a, 8-b, 8-c, 8-d, 8-e, 8-f;
- 7-я неделя** материалы к лекциям 9-a, 9-b, 9-c, 9-d, 9-e, 9-f, домашнее задание 3;
- 8-я неделя** материалы к лекциям 10-a, 10-b, 10-c, 10-d;
- 9-я неделя** материалы к лекциям 11-a, 11-b, 11-c, 11-d, 11-e;
- 10-я неделя** материалы к лекциям 12-a, 13-a, 13-b, домашнее задание 4;
- 11-я неделя** материалы к лекциям 13-c, 13-d, 14-a, 14-b;
- 12-я неделя** материалы к лекциям 14-c, 14-d, 14-e, 14-f, домашнее задание 5;
- 13-я неделя** экзамен (все домашние задания закрыты).

Материалы выпускались по субботам в 12:00 по московскому времени. В это же время заканчивались сроки сдачи заданий. Время было выбрано так, что если слушатель не успел решить домашнее задание за 13 дней (мягкого срока), то у него оставалась ночь пятницы и утро субботы, чтобы это сделать.

2.5 О качестве представления материалов

Одна из самых затратных работ при подготовке дистанционного курса — это выбор формы представления и проверка качества представления материалов. Разницу между дистанционными и локальными курсами можно объяснить на примере работы ремесленника и завода. Ремесленник охватывает небольшой объем своих соседей, многие из которых его друзья, и они готовы снисходительно смотреть на его промашки. Качество заводского продукта должно быть таково, чтобы продукт подходил многим.

Для всех-всех-всех публикуемых материалов (лекций, презентаций, конспектов, задач, писем, обсуждений) важно качество представления: слушателям должно быть видно, им должно быть слышно, им должно быть понятно. Чем меньше опечаток, тем лучше.

Причина очень проста: слушатель, если он не знает предмета, оказывается в ситуации, когда ему не ясно, где верх, где низ, где правильно, где неправильно, он/она не знает педагога, не понимает полутонов. Объяснения должны быть таковы, чтобы помочь слушателю разобраться, а не затуманивать информацию.

Отсюда следует, что в команде должна быть предусмотрена роль проверяющего материал, либо материал должен “отлеживаться” значительное время. В последнем случае, это необходимо учитывать в графике проекта.

2.6 Если бы знал, где упасть...

Имеющийся опыт подготовки дистанционного курса, приводит к такой (неопробованной) последовательности шагов.

1. Сформулировать минимальный набор задач, которые требуется проверить у слушателя.
2. Сформулировать те понятия и алгоритмы, которые вошли в минимальный набор задач.
3. Сформулировать все те понятия и алгоритмы курса, которые необходимы для понимания предыдущих пунктов. Назовем его *общим набором* понятий курса. Проанализировать объем общего набора. Если общий набор понятий курса получился очень большой, то найти возможность его сократить.
4. Вернуться к минимальному набору задач и пересмотреть его, оставив только задачи, покрываемые общим набором. Здесь появятся содержимое домашних заданий и экзамена, подобное изложенному в разделе 2.3.
5. Расставить понятия общего набора на имеющиеся лекции.
6. Оставить лекции, на которых выпали понятия общего набора.
7. Разбить материал лекций так, чтобы в каждой лекции получилось по 5 (оценка приблизительно) элементов общего набора понятий. Конечно, по возможности, сохранять существующую структуру лекций. Даже если в курсе нет видео, покрывающего все элементы лекции, такое разбиение позволяет отслеживать темп подачи материала. В результате, появится структура курса, подобно изложенной в разделе 2.1.
8. Составить минимальный набор задач, жестко определив то представление, которое требуется для автоматической проверки. Здесь появятся задачи для автоматической системы.
9. Включить форму представления задач, необходимую для автоматической проверки в материалы лекций.
10. Переработать лекции. Здесь появится переработанный вариант презентаций и сценарий видео.
11. Записать видео.

2.7 Некоторые замечания

Замечание по длительности курса. Как показывает практика (моя собственная и слушателей курса), честное изучение дисциплины удаленно занимает у слушателя приблизительно в 2 раза больше времени, чем при локальном обучении. Иными словами, если видеозапись лекции составляет 2 часа и на решение задач тоже отводится 2 часа (при местном обучении), то при дистанционном обучении слушатель, незнакомый с предметом, потратит 8 часов.

Из этого исхода, следует рассчитывать длительность дистанционного курса. Если предположить, что обучается взрослый работающий человек, то заниматься он может только в выходные. Если учесть, что у многих работающих есть только один выходной, то длительность занятий в 8 часов означает, что слушатель полностью теряет выходной на самообразование. Трудно представить себе силу воли взрослых людей, способных потерять выходные 13-14 недель подряд. Следовательно, для сохранения корпуса слушателей все “длинные” дисциплины должны разбиваться по 6-7 недель (1.5 месяца – куда более реалистичный диапазон времени), потом делаться перерыв, хотя бы в 1 месяц.

Замечание по материалам. За первый прогон курса не удастся подготовить все материалы, необходимые для полноценного дистанционного образования.

2.8 Методические проблемы, сформулированные проф. Ю. Г. Карповым

Перед теми разработчиками подобного курса, которые хотят, чтобы курс чему-то научил, на данный момент ясно определяются следующие совершенно новые сложные проблемы:

1. Проблема ЭТАЛОННОСТИ. Разработанный курс предполагается использовать в университетах, которые обучают студентов с заведомо более слабой средней подготовкой, чем в университете-разработчике. Фактически, предполагается, что курс будет ЭТАЛОНОМ для многих слушателей. Подготовка курса для таких студентов требует:
 - очень четкого логического построения всех лекций курса и каждой отдельной лекции;
 - отсутствия в изложении недосказанностей, положений, принимаемых по умолчанию. В обычных лекциях эти проблемы решаются обратной связью со студентами на практических занятиях;
 - изложения в начале каждого раздела и в конце каждого раздела, в начале каждой лекции и в конце каждой лекции тех задач, которые в этом разделе (в лекции) решаются;
 - ведения пополняемого в каждой лекции ТЕЗАУРУСА с четкими определениями и пояснениями каждого вводимого термина.
2. Как НАУЧИТЬ чему-то студентов без общения с ними на практических занятиях, без привычных нам консультаций при выполнении ими самостоятельных и курсовых работ (фактически, без всякого общения)?
 - внедрение в лекции подробных постановок практических проблем, решаемых с помощью изложенной теории, а также алгоритмов, приемов решений эталонных примеров (практических задач);
3. Как ПРОВЕРИТЬ уровень знаний и умений, полученных студентами в рамках курса без очного с ними общения? (Если, конечно, такую задачу ставить). Механизм разработки проверочных заданий, предполагающих не просто выбор одного варианта из нескольких, а проявления реальных знаний и умений данного конкретного материала чрезвычайно важен и труден. Сложны как и составление таких заданий, так и их проверка. Опыта подобной аттестации обычно у преподавателей нет (кроме случаев, когда АВТОМАТИЧЕСКИ аттестуются студенты, только ПОСЕЩАВШИЕ курс). Только реальный опыт такой аттестации сможет определить уровень затрат времени и усилий на поддержание разработанного курса.

Глава 3

Техническая часть проекта

В этой главе очень коротко изложены технические аспекты проекта.

3.1 Работы с платформой

Национальная платформа открытого образования построена на основе продукта edX.

На платформе существует два формата представления материалов курса: *Студия* и *Текущая версия курса*. Доступ к этим форматам предоставляется преподавателю локальным администратором платформы.

В *Студии* преподаватель загружает материалы курса. В *Текущей версии* просматривает, как материалы выглядят для студента, общается со студентами, просматривает текущую успеваемость. Переход между этими двумя форматами осуществляется так. Чтобы из *Студии* попасть в *Текущую версию*, надо в правой верхней части нажать кнопку *Просмотр текущей версии*. Чтобы из *Текущей версии* попасть в *Студию*, необходимо выбрать любой материал курса нажать *Просмотреть блок в Studio*.

Структура курса вводится в разделе *Содержимое* в *Студии*. *Структура курса* состоит из *разделов*, *раздел* – из *подразделов*, *подраздел* – из *блоков*. *Блоками* курса могут быть видеолекции, домашние задания, конспекты и т. п. Каждому блоку необходимо давать название.

3.2 Подготовка презентаций и конспекта

Конспекты и презентации представлялись в формате pdf. Загрузка материалов в формате pdf осуществлялась из *Студии* в меню *Содержимое* -> *Файлы и загрузки*->*Загрузить новый файл*.

Чтобы загруженные материалы вставить в *Структуру курса*, необходимо в соответствующем подразделе *Структуры курса* вставить *Новый блок* -> *Добавить новый компонент* -> *HTML* -> *Текст*. Далее перейти в состояние *Редактировать* -> *Вставить/редактировать ссылку*, вставить URL ссылки в формате платформы (это URL видно в разделе *Файлы и загрузки*). При этой вставке необходимо задавать название *Блока*, название ссылки (*Отображаемый текст* при редактировании ссылки, этот текст будет показываться пользователю вместо URL), в настройках текста устанавливать *Отображаемый текст* (это текст, который будет всплывать при наведении мышкой на компонент структуры)

“Методические инструкции”, упомянутые на стр. 4, требовали, чтобы презентации, используемые в видеоматериалах, имели бы размер, соответствующий формату видео, а именно 16:9. Пропорции изначальных презентаций были 4:3. Автоматический перевод презентаций к размеру 16:9 привел к сдвигу формул и картинок. Отчасти причиной тому был не масштабируемый шрифт, отчасти очень насыщенные слайды. Переработка каждой из 47 презентаций заняла около 8 часов. Итого 376 часов ушло на переработку презентаций.

Подготовка конспекта на весь курс (по материалам книг Ю.Г. Карпова) заняла около 8 часов. Здесь затраты были минимизированы: разделы книг разбивались на куски в соответствии с блоками недели, готовились pdf файлы.

3.3 Подготовка видеолекций

Все видеоматериалы были в формате mp4. На платформе была рекомендация, чтобы видеоматериалы, если их много, загружались бы на youtube. Таким образом видеоматериалы сначала загружались на youtube, где им давалось описание в соответствии с требованиями youtube.

Чтобы присоединить видеоматериалы к *Структуре курса* в соответствующем подразделе создается *Новый Блок->Видео*. В состоянии *Редактировать* вводится ссылка на видео из youtube, подгружаются субтитры, если они есть, определяется *Отображаемое название компонента*. Везде – в названии раздела, подраздела, блока, отображаемом названии – нами указывалось длительность видеороликов в формате *часы-минуты-секунды*, чтобы слушатель мог планировать время, затрачиваемое на просмотр видеоматериалов. (Платформа не предоставляет пользователю информацию о длительности видеоматериала.)

3.3.1 Запись и обработка видеоматериалов

СПбПУ пошел нам на встречу, и видеозапись производилась самостоятельно профессором Карповым.

Для видеозаписи были приобретены два экземпляра пакета [Camtasia 8.1](#). Пакет Camtasia 8.1 имеет встроенный плагин для работы с MS PowerPoint из пакета [MS Office](#). Мы использовали MS Office 12, т. к. с MS Office 13 пакет Camtasia 8.1 работал нестабильно. Для записи аудио использовался микрофон-петличка. Видеопоток с камеры записывался синхронно со звуком и презентацией. Подробную инструкцию о видеозаписи презентаций с помощью Camtasia и MS PowerPoint можно найти на сайте [TechSmith](#).

Общее время на запись видеоматериалов оценить трудно, т. к. во время записи делались перерывы. Видеоматериал по длительности был в 2 раза больше окончательного, т. е. записан видеоматериал более, чем на 48 часов. Общий объем видеоматериалов проекта составил около 1 ТВ.

Обработка видеоматериала производилась также с помощью Camtasia 8.1. Обработка состояла в трех этапах: предобработке, редакции, постобработке.

В процессе предобработки видеозапись разбивалась на смысловые видеоролики по 5-10 минут. Этот процесс был в 1.5 раза дольше исходной видеозаписи. Т. е. если весь видеоматериал оценивать в 48 часов, то на предварительную обработку было затрачено около 72 часов. Предобработка понадобилась, поскольку на компьютере с 64-битной архитектурой, процессором intel core i7, 16GB оперативной памяти не удавалось редактировать видеоролики длительностью более 15 минут.

После предобработки каждый видеоролик редактировался: убирались повторы фраз, повторы видео, оговорки, речевые особенности. Это занимало 2 объема исходной видеозаписи, т. о. 96 часов.

Во время постобработки отредактированные ролики собирались заново и состыковывались, формировалась структура курса, описанная ранее. Это по времени равнялось 4 окончательным видеозаписям, т. е. 96 часов.

Рендеринг видеороликов, их загрузка на [youtube](#), ввод информации о ролике на youtube и на платформе, поддержка архива с видеоматериалами занимали по часу времени на каждый ролик, т. о. всего 196 часов.

3.3.2 Подготовка субтитров

Субтитры к видеоматериалам позволяют существенно упростить для слушателей освоение курса. Многие слушатели предпочитают читать субтитры вместо конспекта.

Мне удалось подобрать следующую бесплатную технологию. Видеоролик прогоняется через динамики в программе распознавания речи `SpeechLogger` и получается печатный текст. Полученный текст прогоняется через службу подготовки субтитров в `youtube`. Эта служба автоматически расставляет текст по слайдам. Во время расстановки текста отлавливались опечатки и неточности распознавания. Такая подготовка субтитров занимает в 2 раза больше времени, чем длительность видеоролика. Т. е. на видеозапись из 2-х часов надо 4 часа, чтобы получить субтитры.

К сожалению, использование такого процесса показало, что много опечаток выловить не удастся. Прогон готовых субтитров через какой-либо пакет проверки орфографии также не дает результатов, поскольку субтитры состоят не из предложений, а из обрывков фраз. Многие ошибки распознавателя речи были связаны с тем, что использовался свободно распространяемый пакет, в котором не было возможности настроить специализированный словарь. Другой трудностью при распознавании речи были математические формулы, поскольку они разбивали стройную фразу на несвязанные (для распознавателя) куски.

Поэтому процедура подготовки субтитров была изменена следующим образом. После `SpeechLogger` текст редактируется в службе подготовки субтитров `youtube`, но без расстановки субтитров по слайдам. Получается “грубый” вариант текста, который можно понять и восстановить без постоянного обращения к видеоматериалу. Потом текст проверяется пакетом проверки орфографии, а затем, повторно используя службу подготовки субтитров `youtube`, формируются окончательные субтитры. Такое изменение процедуры повышает качество текста, но увеличивает время их подготовки вдвое (на 2 часа видеозаписи получается 8 часов), поэтому от субтитров пришлось отказаться.

3.4 Домашние задания и экзамен

Для ввода заданий на платформе используется язык HTML, для ввода математических символов используется язык `MathJax`¹. Ввод математических заданий – это непосредственный ввод `html` кода с элементами `MathJax`.

Например, часть домашних заданий выглядели так:

```
<p>Дано выражение от двоичных переменных  
(a≡ b∧ c→ d∧ a∨ c∨ b∧ d∧ c∧ d∧ a) </p>
```

Очевидно, что визуальная проверка текста заданий, представленных в таком виде, очень трудна. Если в команде есть специалист, способный просмотреть независимо код заданий, то это сократит количество опечаток.

Как обнаружилось уже под конец курса, формулы `MathJax` можно вводить в графическом редакторе `LaTeX` (например, `ВаКоМа`). Это позволяет увидеть ошибки непосредственно при вводе формул.

Большинство задач наших домашних заданий были типа `multiplechoiceresponse` со случайным выбором. Выбрать задачи этого типа на платформе можно так *Структура курса->Новый блок->Задача->Задача с множественным выбором*. Чтобы посмотреть `html` код такой задачи и вводить формулы, выбирается *Расширенный редактор*. Возврат из `html` кода к облегченному редактору не осуществляется.

Для формирования домашнего задания в текст задачи добавлялся текст всех остальных задач. (Это отличается от того, если каждую задачу домашнего задания формировать отдельным блоком на платформе. В последнем случае каждая задача засчитывается платформой за отдельное домашнее задание.)

¹Несколько полезных ресурсов для работы с `MathJax`: [A Brief Introduction to MathJax in Studio](#), [Math Symbols and Math Fonts](#)

Чтобы установить случайный выбор ответов, при редактировании задачи необходимо нажать *Настройки*. В нижней части настроек находится *Случайный выбор параметров заданий*. Он устанавливался в нашем случае в значение *Всегда*. В настройках блока и задачи можно установить и другие параметры: когда выпустить задание, является ли это задание домашним заданием или экзаменом, как оно оценивается, сколько раз слушатель может его пересдавать, показывать ли правильные ответы и т. п.

Компилятор платформы производит проверку до ближайшей ошибки, поэтому отладка задач производилась небольшими порциями. (Сами задачи вводились в текстовом редакторе локально, а потом копировались на платформу.)

Ввод одной задачи на сайт занимал от 2 до 12 часов. Это было одно из самых слабо прогнозируемых действий.

Проверить результаты выполнения заданий можно при просмотре *Текущей версии: Преподаватель -> Скачивание данных -> Создать оценочный лист*. Оценочный лист создается платформой от получаса до нескольких часов. Внимание: 1) если в структуре курса перенести домашнее задание из одного подраздела в другой, то результаты его выполнения обнуляются, т. е. в оценочном листе будут нули. Действие является необратимым; 2) если задание скрыть от студентов, то результаты его выполнения обнуляются, т. е. в оценочном листе снова будут нули, слушатель в своем прогрессе тоже видит нули. Это действие обратимо.

Чтобы задать пропорции в финальном оценивании между домашними заданиями, экзаменом и прочими элементами оценивания, необходимо перейти в *Студии* в раздел *Оценивание*. Внимание: несмотря на установленные пропорции, платформа не всегда правильно принимает решение о допущенных к экзамену. (Она их помечает в *Оценочном листе*, как *Ехат*.) Поэтому приходится формировать свою группу с результатами допущенных к экзамену.

3.5 Общение со слушателями

Платформа поддерживает раздел *Обсуждение*. Для этого из *Структуры курса* переходим в *Просмотр текущей версии*. Платформа не отправляет уведомлений о поступлении нового сообщения в обсуждении.

Для проверки обсуждения на сайте необходимо в команде определить взрослого специалиста высокой квалификации. Просматривать обсуждение нужно хотя бы раз в день. Чем чаще просматривается обсуждение, тем активнее дискуссия. Затраты на ответы составили около 1-2 часов в каждый день просмотра.

Поскольку не все особенности платформы известны преподавателям, то имеет смысл попросить слушателей сообщать о технических проблемах в обсуждении. Слушатели здесь – самые верные помощники.

Индивидуальное общение со слушателями через электронную почту – не всегда удачное решение. Во-первых, из-за загрузки не всегда удается ответить вовремя, а слушатель ждет. Во-вторых, общение – это диалог. Как следствие, из-за формата электронной почты он затягивается. Но для критических ситуаций электронная почта необходима.

Для рассылки электронной почты всем слушателям необходимо при просмотре *Текущей версии* перейти в раздел *Преподаватель*, а затем в раздел *Электронная почта*. Настоятельно рекомендуется, прежде чем рассылать электронное письмо всем слушателям, послать его несколько раз на свою почту и перечитать. В письме, описывающем материалы недели, необходимо перечислять весь материал, который должен быть опубликован: темы, видеолекции, презентации, конспект, домашние задания. Поскольку если у слушателя возникают технические проблемы с доступом к материалам недели, то, не зная, что ожидать, он об этих проблемах никогда не узнает. Также необходимо явно указывать время, в которое материалы становятся доступны слушателю (по той же причине).

Заключение

Дистанционная форма образования показала себя в этом проекте жизнеспособной формой обучения. На текущий момент с ее помощью можно обучать базовым основам и алгоритмам дисциплины. С помощью существующих методов дистанционного образования можно отработать основные навыки, необходимые для работы с предметом дисциплины. С другой стороны, дистанционное образование слабо поддерживает выполнение творческих задач.

Дистанционная форма на современном уровне развития подходит в следующих случаях: человеку интересно ознакомиться с дисциплиной или, человек использует простейшие азы дисциплины в своей деятельности, или человек собирается продолжить обучение по дисциплине классическим образом. С помощью дистанционного образования можно производить отбор студентов для обучения классическим образом: будут отобраны студенты с высокой мотивацией, способные к предмету, имеющие сильную волю, умеющие организовывать свое время.

Литература

- [1] Карпов Ю. Г. *Теория автоматов*. СПб.: Питер, 2003, С. 208
- [2] Карпов Ю. Г. *Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем*. СПб: БХВ-Петербург, 2010, С. 560