



Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)

Дипломная работа

«Система автоматизации составления расписания аудиторных занятий»

Дипломник: Матвеев А.В. группа 08-608
Руководитель: доцент, к.ф.—м.н. Лукин В.Н.

Москва, 2015 год

Постановка задачи

2

- Провести анализ существующих программных продуктов автоматизации составления расписаний.
- Разработать и реализовать алгоритм решения задачи составления базовых вариантов расписания.
- Разработать архитектуру программного обеспечения.
- Разработать прототип программно-информационного обеспечения автоматизации составления расписания аудиторных занятий для нескольких факультетов, который обеспечивает:
 - составление базового набора приемлемых вариантов расписания;
 - корректировку и контроль расписания;
 - представление расписания в удобной форме;
 - сохранение истории расписаний.

Цель исследования и аналоги

3

Рассматриваемые параметры	1С:Автоматизированное составление расписания. Университет	БИТ.Расписание 1С: ПервыйБИТ	Расписание занятий: «Ректор-ВУЗ»
Эффективное составление базовых вариантов расписания	+	+	+
Пользовательский интерфейс	-	+ -	-
Функциональность	+	+	+
Внедрение и поддержка	-	-	-
Доступность продукта	-	-	+

Задача о составлении расписания

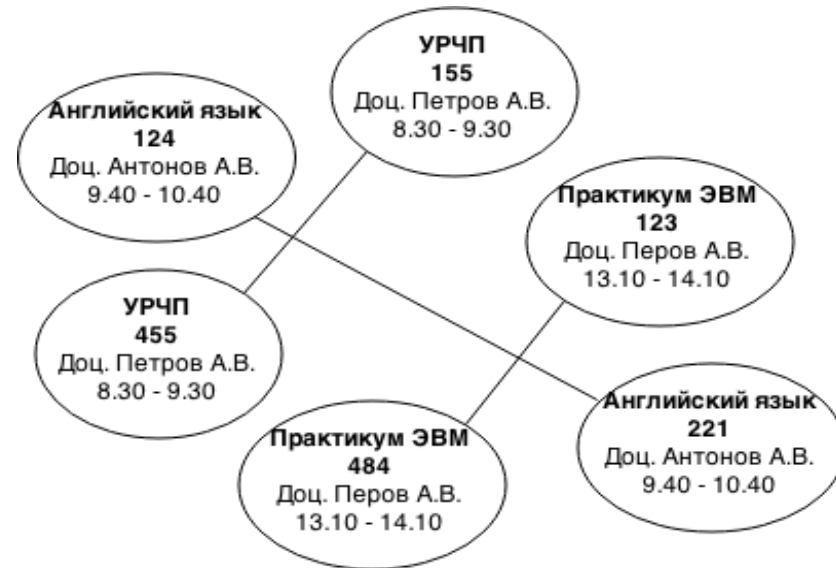
- NP-трудная задача

	Временной промежуток 1	Временной промежуток 2	Временной промежуток 3
Аудитория 1	Свободный временной промежуток	Дискретная математика 123 Профессор Антонов Номера студенческих групп = {3, 13, 25}	Математический анализ 137 Доцент Петров Номера студенческих групп = {5, 25, 43}
Аудитория 2	Дискретная математика 261 Профессор Антонов Номера студенческих групп = {1, 47, 53}	Дискретная математика 124 Доцент Иванов Номера студенческих групп = {2, 37, 43}	Свободный временной промежуток
Аудитория 3	Математический анализ 379 Доцент Сидоров Номера студенческих групп = {2, 37, 53}	Математический анализ 155 Доцент Иванова Номера студенческих групп = {4, 13, 25}	Дискретная математика 225 Доцент Андреев Номера студенческих групп = {34, 37, 43}

Методы решения

5

- Методы перебора последовательностей
- Методы кластеризации
- Методы на основе ограничений
- Метаэвристические методы (генетические алгоритмы и др.)



Генетический алгоритм

Хромосома – определенное решение проблемы (например, вариант составленного расписания).

Популяция. Содержит все хромосомы, которые появляются в результате работы алгоритма.

Пространство поиска – множество всех возможных решений.

Приспособляемость – оценка, которая дается хромосоме. Она обратно пропорциональна количеству нарушений ограничений.

Ген – это фундаментальная единица решения проблемы.
Хромосома состоит из **генов**.

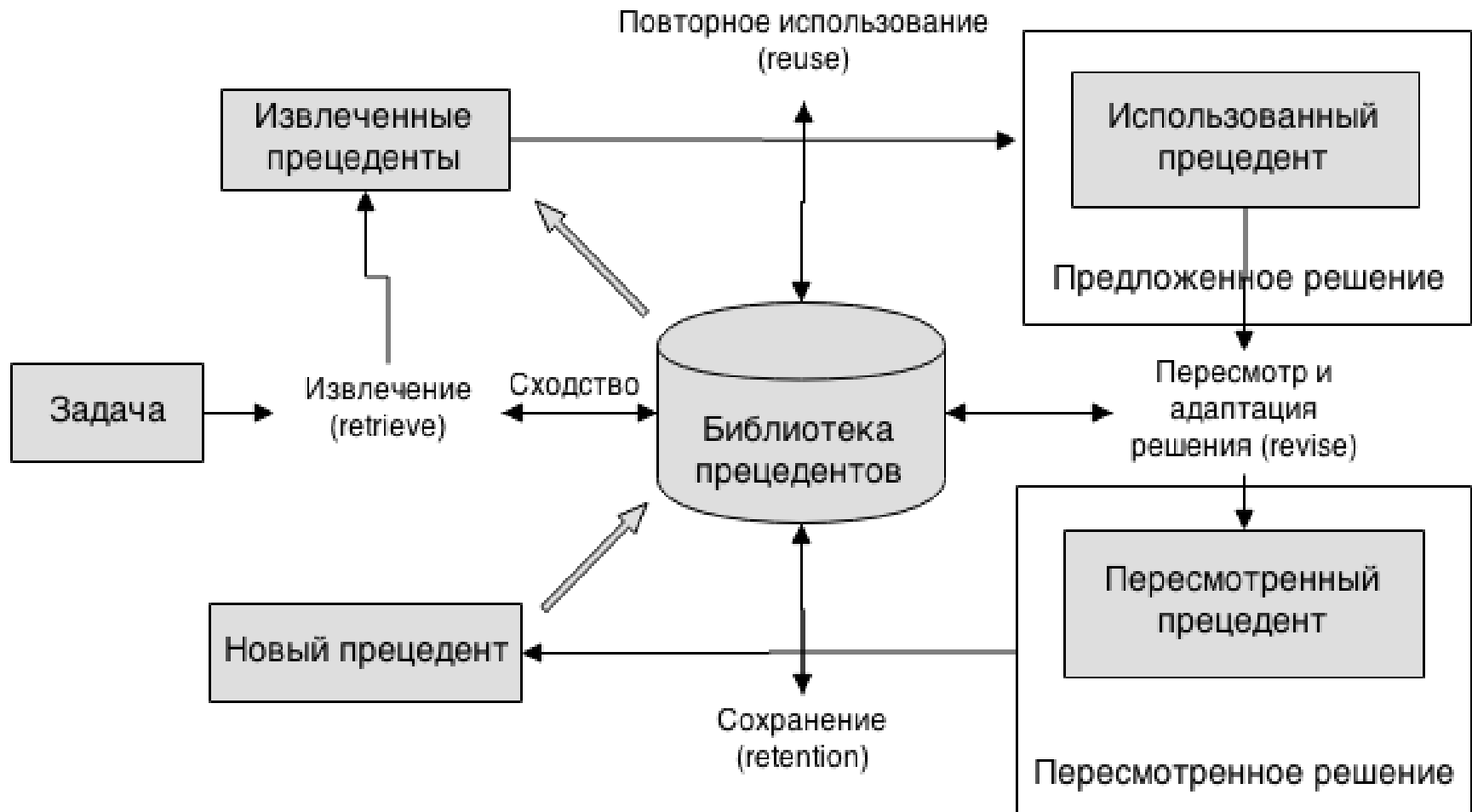
Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. формирование начальной популяции;
2. селекция хромосом;
3. скрещивание хромосом случайными значениями функции пригодности (Кроссинговер);
4. операция мутации над потомством;
5. отбор хромосом в новую популяцию;
6. проверка критерия остановки алгоритма;
7. выбор наилучшей хромосомы.

Алгоритм рассуждения по прецедентам 8

Цикл рассуждения на основе прецедентов (CBR - цикл):

- извлечение наиболее подобного прецедента (Retrieve);
- повторное использование извлеченного прецедента (Reuse);
- пересмотр полученного решения и его адаптация (Revise);
- сохранение вновь принятого решения (Retain).



Постановка задачи составления расписания ⁹

Дни и временные промежутки: Количество учебных дней в неделю считается равным 6. Каждый день делится на равное количество временных интервалов. В данном случае количество временных интервалов будем считать равным 12.

Преподаватели: Каждый преподаватель имеет определенное расписание.

Учебная программа: Список курсов, за каждым из которых закреплена определенная группа студентов.

Аудитории: Каждая аудитория обладает двумя параметрами, в частности, вместимость (или количество свободных мест) и наличие специального оборудования.

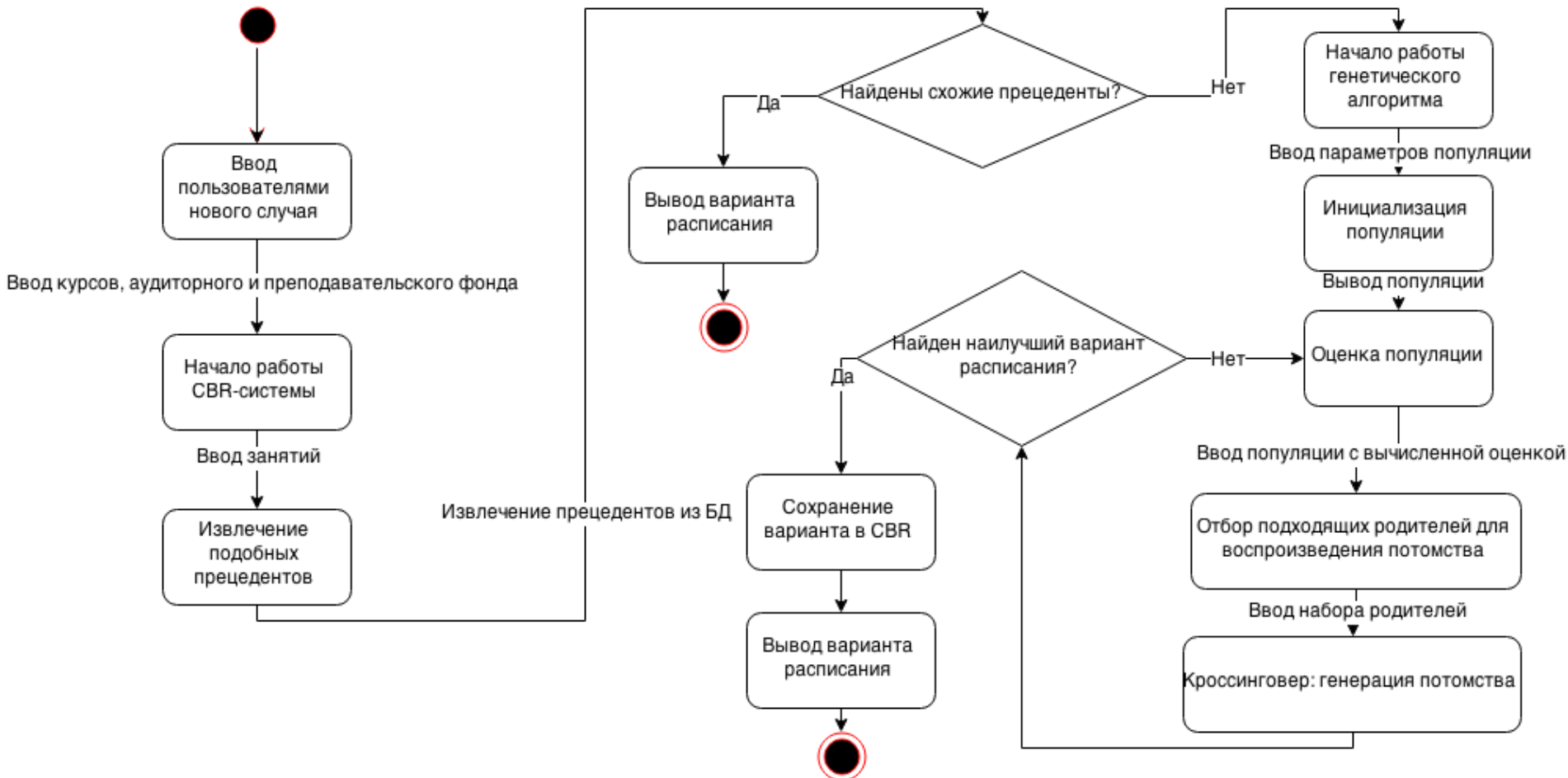
Курсы: Каждый курс имеет фиксированный интервал времени, читаемый курс, определенное количество мест и оборудование.

Обязательные ограничения:

- курс может читаться только в свободной аудитории;
- преподаватель не может иметь более одного курса читаемого в один и тот же временной промежуток;
- студенческая группа не может иметь более одного курса читаемого в один и тот же временной промежуток;
- количество мест в аудитории должно быть достаточно, чтобы вместить определенную группу студентов;
- чтобы провести занятие по определенному курсу для группы, аудитория должна иметь необходимое оборудование (например, компьютеры), если читаемый курс требует этого (лабораторная);
- отсутствие «окон» у студентов.

Гибридный алгоритм

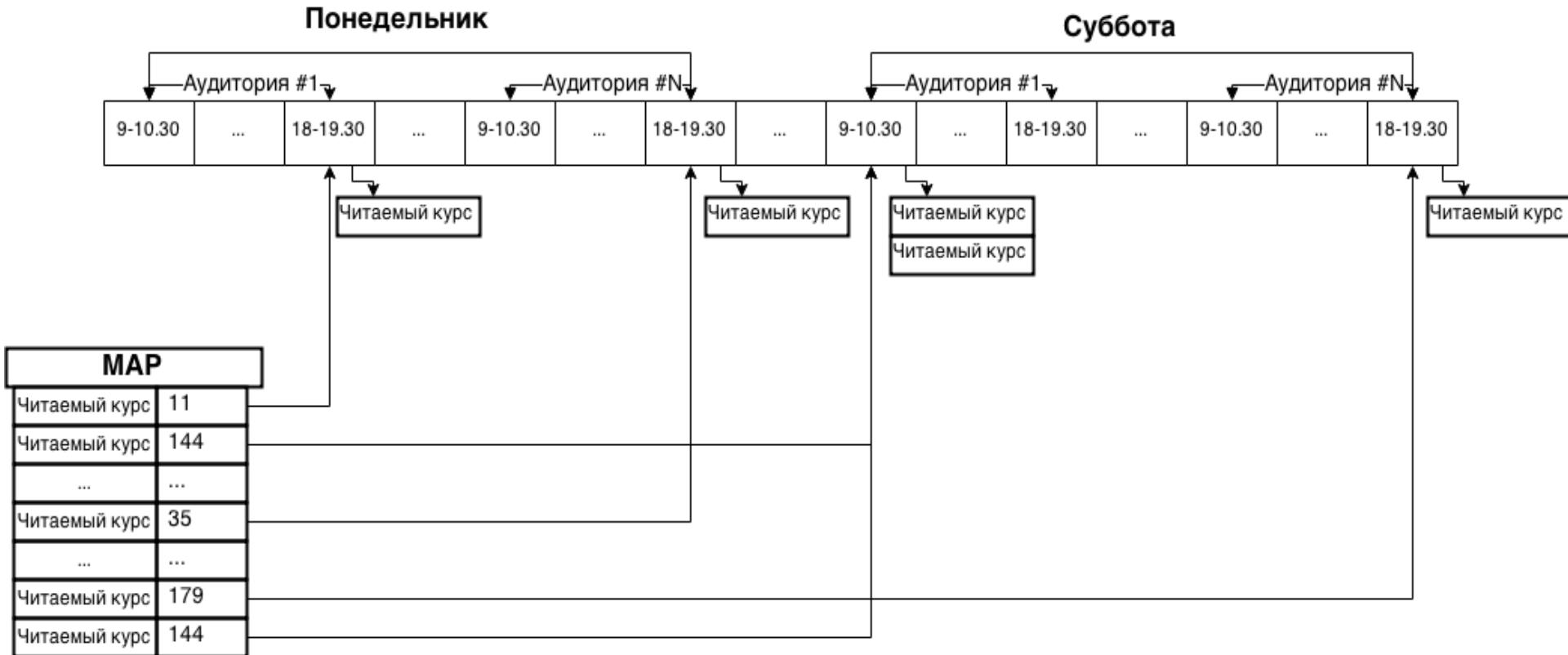
Комбинация генетического алгоритма и алгоритма рассуждения по прецедентам



Реализация генетического алгоритма

12

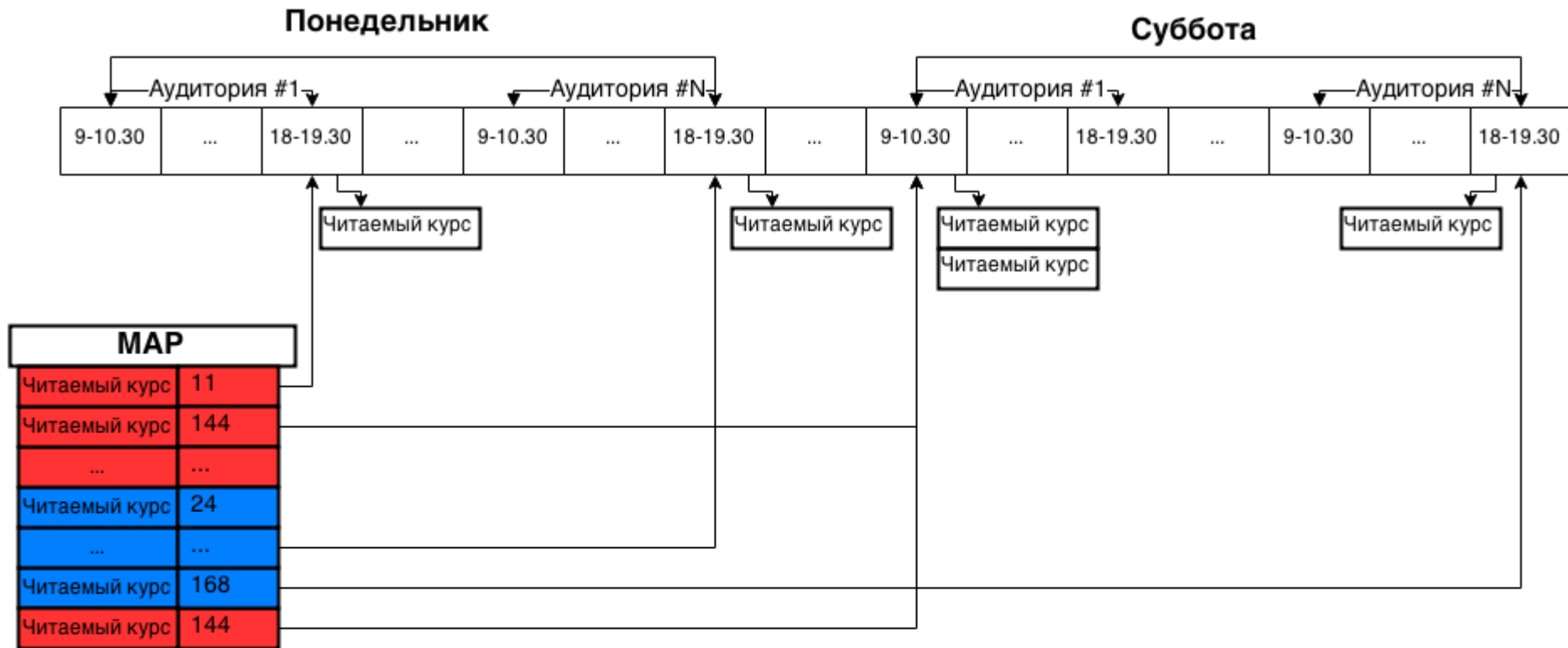
Программное представление расписания



Реализация генетического алгоритма

13

- Двухточечный кроссинговер



Читаемый курс	11
Читаемый курс	144
...	...
Читаемый курс	35
...	...
Читаемый курс	179
Читаемый курс	144

Родитель 1

Читаемый курс	11
Читаемый курс	144
...	...
Читаемый курс	24
...	...
Читаемый курс	168
Читаемый курс	144

Родитель 2

- Мутация
- Функция пригодности

Описание работы алгоритма:

1. Случайным образом выбирает N пар родителей от текущей популяции и производит N новых хромосом путем выполнения операции кроссинговера для пары родителей.
2. Случайным образом выбирает N хромосом текущей популяции и заменяет их новыми (алгоритм не выбирает хромосомы для замены, если последние являются одними из лучших хромосом в популяции).

- Повторение операций 1 и 2 производится до тех пор пока лучшая хромосома не достигнет значения функции пригодности, равного 1 (что означает, что все проводимые занятия в расписании удовлетворяют требованиям).
- Алгоритм отслеживает M лучших хромосом в популяции, и гарантирует, что они не будут заменены, поскольку они являются одними из лучших хромосом.

Реализация алгоритма рассуждения по прецедентам

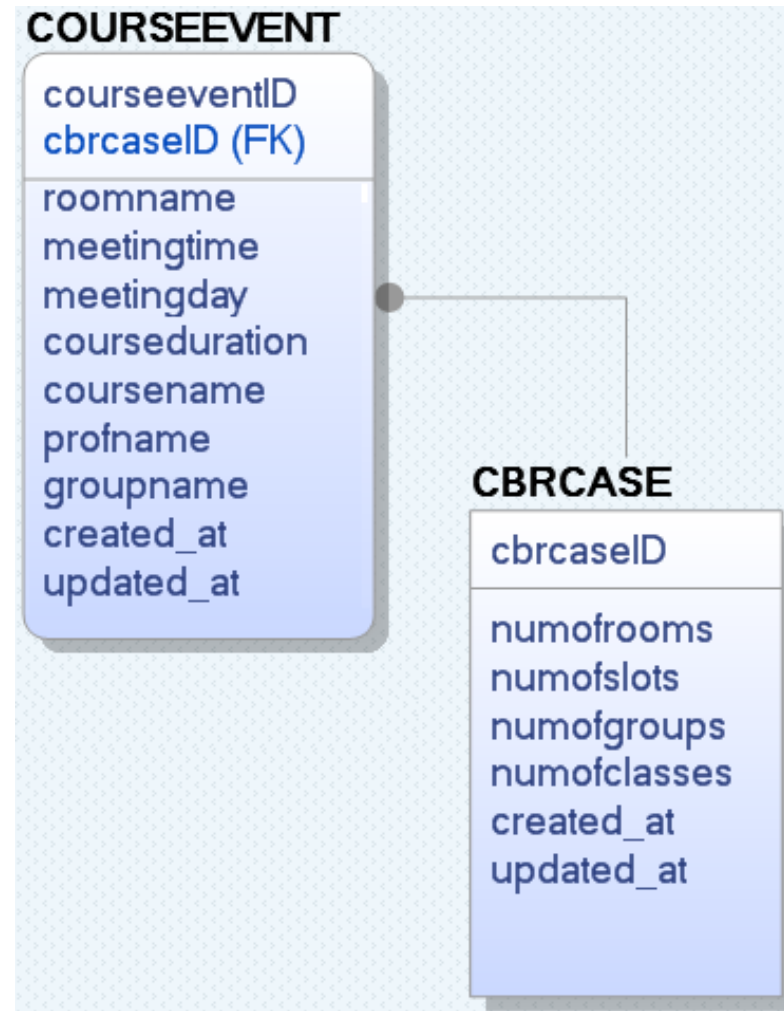
Библиотека прецедентов:

- сохранение в БД необходимых параметров для отображения расписания;
- подсчет ключевых характеристик варианта расписания.

Извлекаемые прецеденты:

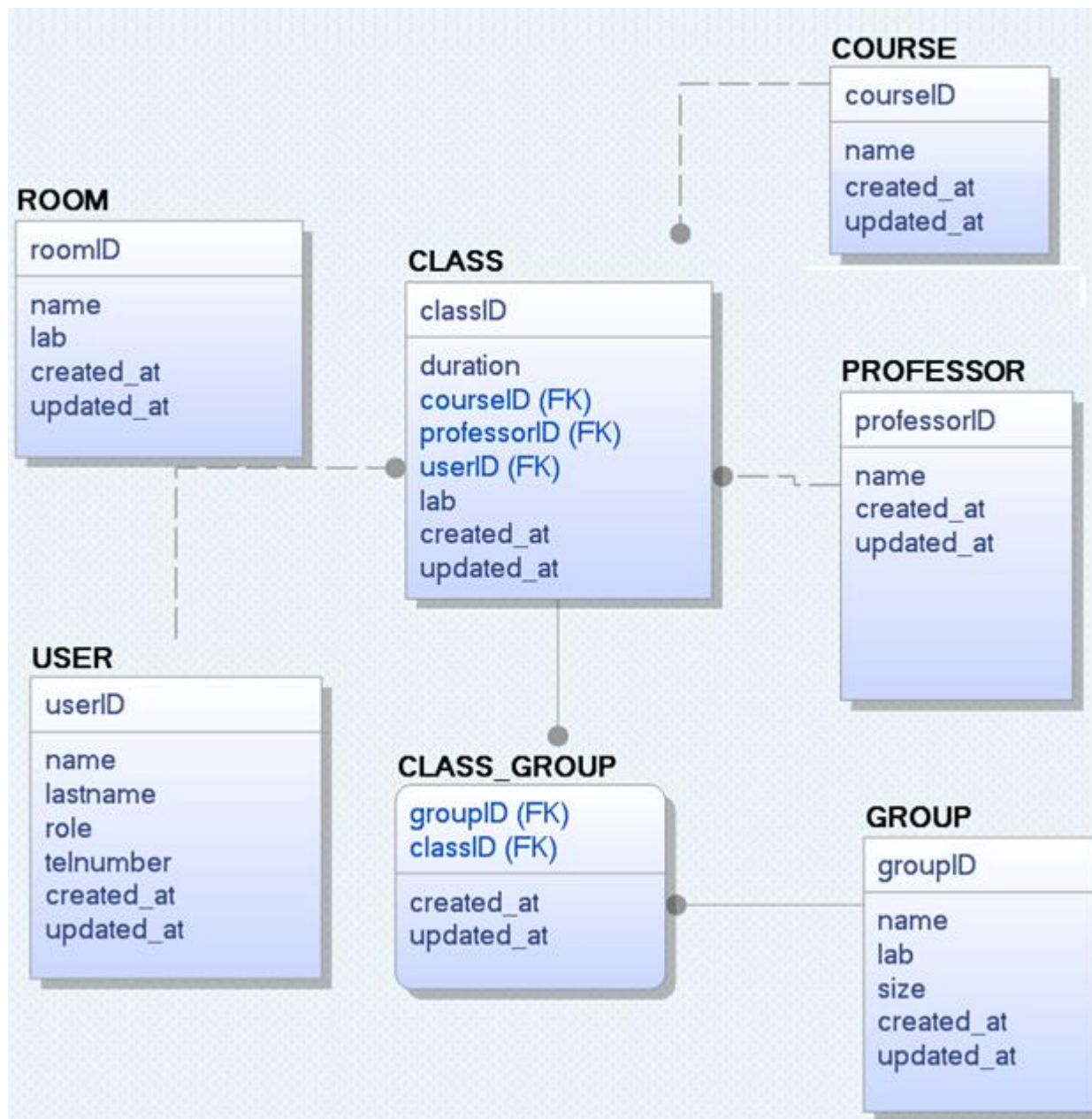
- отбор по ключевым характеристикам;
- оценка схожести.

```
SELECT *  
FROM CBRCASE  
WHERE numslots=12 AND numrooms=8 AND  
numofclasses=9 AND numofgroups=9
```



Модель базы данных

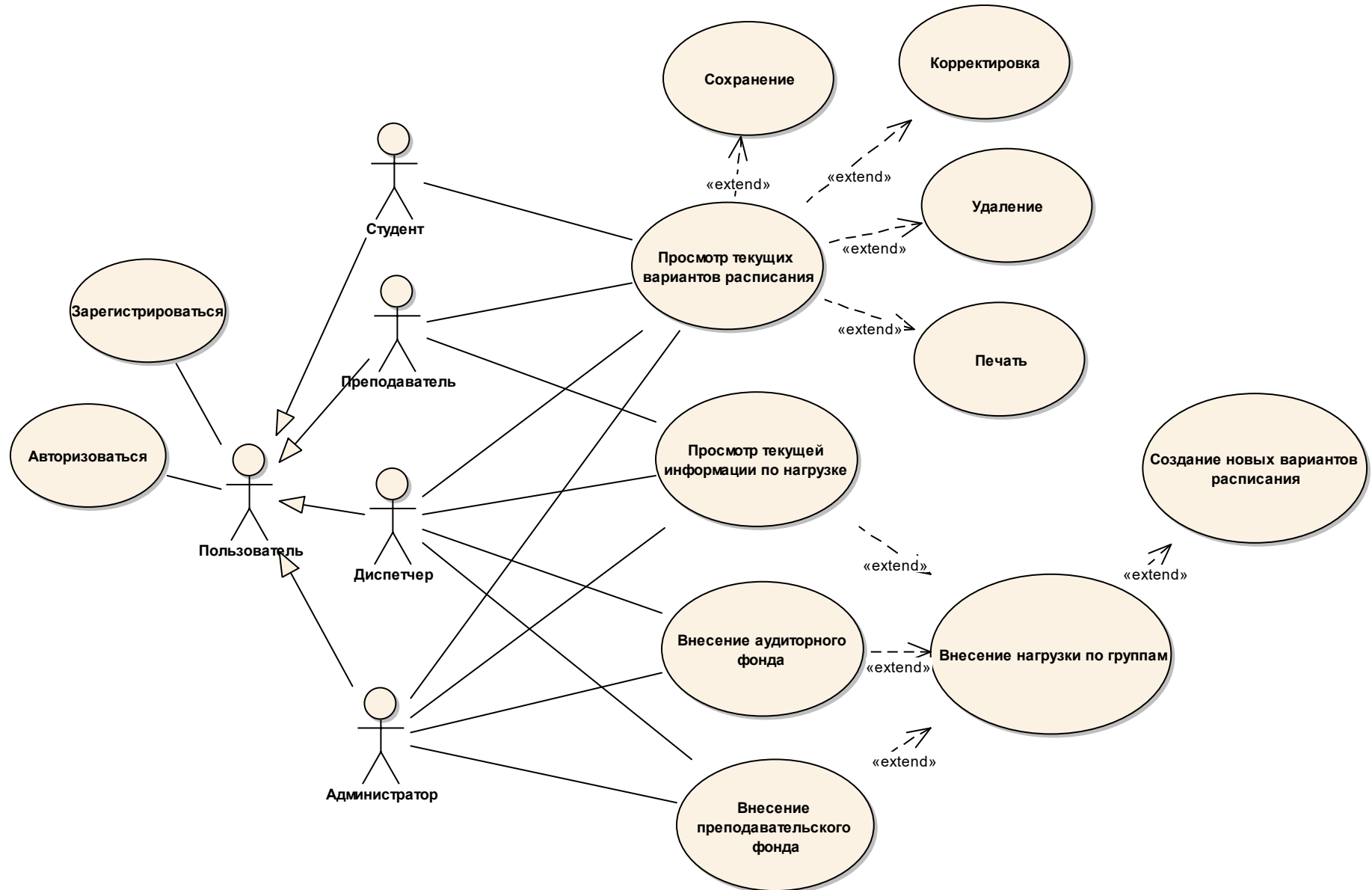
17



Варианты использования

18

ис Система автоматизации составления расписания -варианты использования

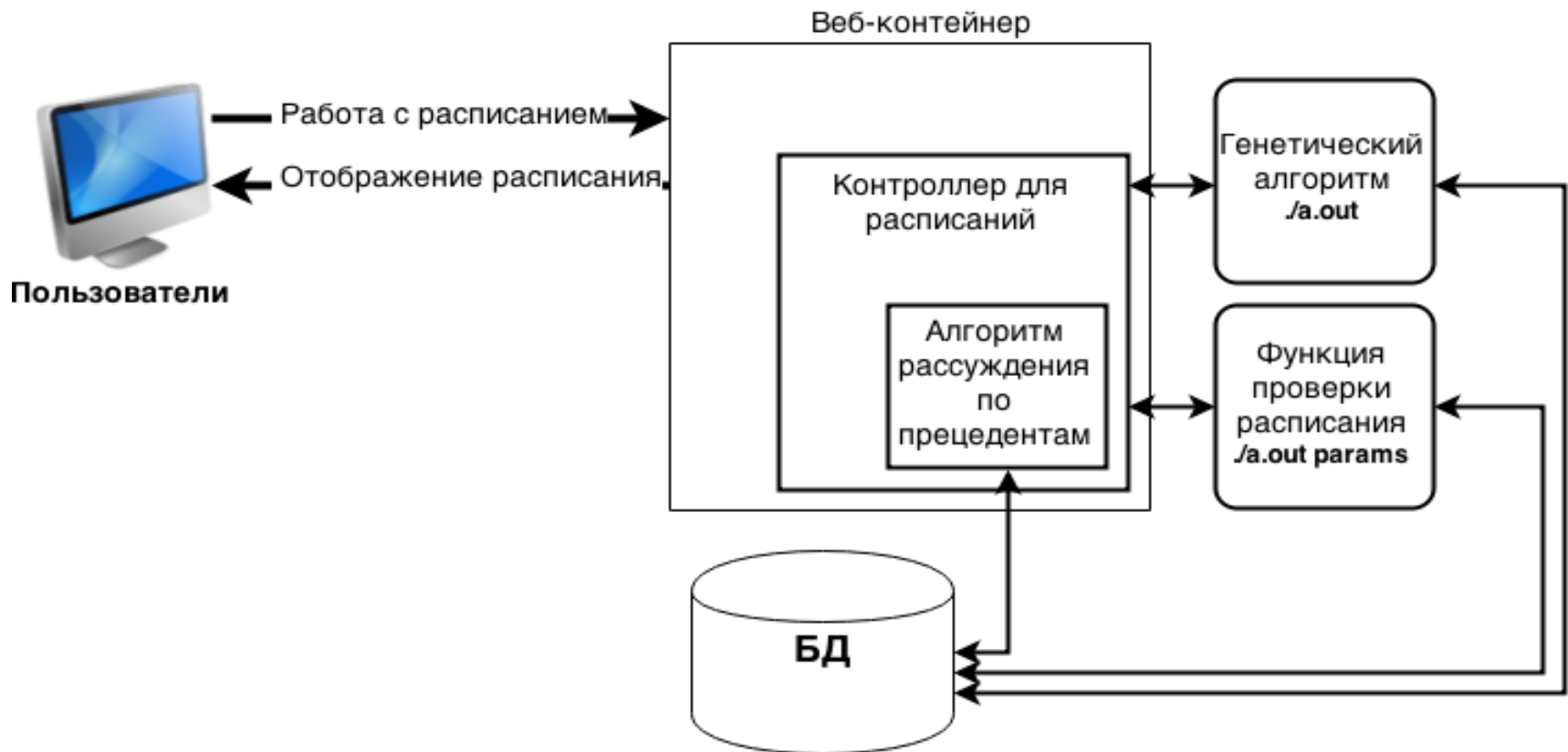


Архитектура и особенности реализации СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

19



- Веб-приложение по модели SaaS;
- база данных как средство хранения расписаний и данных справочников, обмена информацией в работе гибридного алгоритма (шина);
- реализация генетического алгоритма на C++.



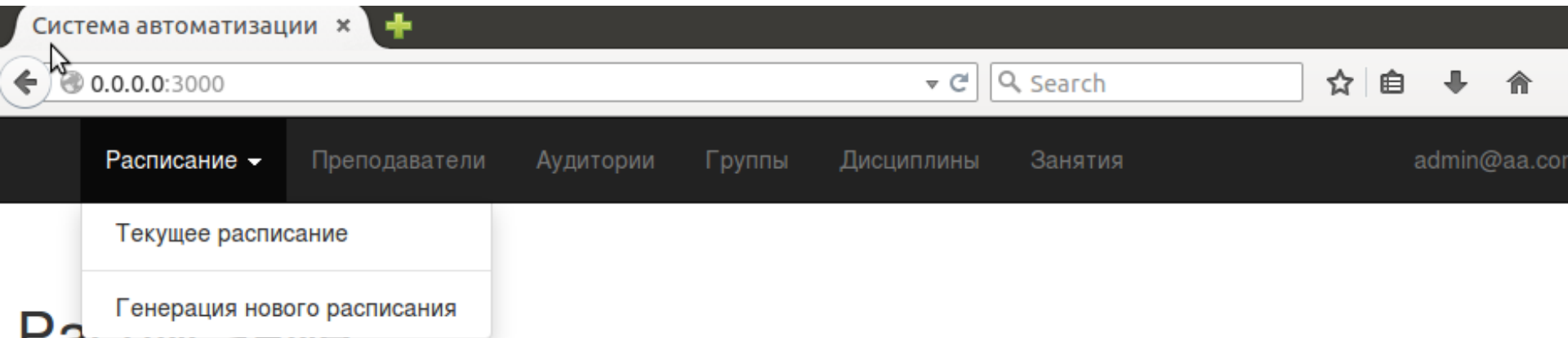


- Веб-фреймворк **Ruby on Rails**
- PostgreSQL в качестве СУБД
- JavaScript (корректировка расписаний)
- Twitter Bootstrap (интерфейс)
- Система контроля версий Git (Bitbucket)

Интерфейс системы автоматизации

21

- Панель работы со справочниками и расписанием



Интерфейс системы автоматизации

22

- Пагинация и поиск по записям справочников

Расписание ▾

Преподаватели

Аудитории

Группы

Дисциплины

Занятия

admin@aa.com ▾

Аудитории

Лабораторная ☐

Поиск

Сброс

Номер аудитории	Лабораторная?	Количество мест			
101	Нет	70	<p>Просмотр</p>	<p>Редактировать</p>	<p>Удалить</p>
102	Да	40	<p>Просмотр</p>	<p>Редактировать</p>	<p>Удалить</p>
204	Нет	30	<p>Просмотр</p>	<p>Редактировать</p>	<p>Удалить</p>
405	Да	40	<p>Просмотр</p>	<p>Редактировать</p>	<p>Удалить</p>
501	Нет	100	<p>Просмотр</p>	<p>Редактировать</p>	<p>Удалить</p>

Добавить аудиторию

1

2

Следующая ›

Последняя »

- Валидация при добавлении и редактировании записей

Добавление занятия

Пожалуйста, исправьте ошибки ниже:

- Продолжительность имеет непредусмотренное значение (разрешены значения от 1 до 12).
- Группы не может быть пустым

Преподаватель

Антонов Сергей

Дисциплина

Математический анализ

Группы

08-306
08-108
08-508

Продолжительность

13

Лабораторная

☐

Сохранить

Назад

Генерация новых расписаний

Расписание

Текущее расписание

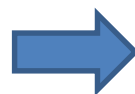
Аудитория 123
Вместимость: 100
Не лабораторная

Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
			8:30-9:00 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203		
9:00-10:30 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203		9:00-10:30 Продолжительность: 1 Дискретная математика Петрова Дарья Группы: 08-203/08-201		9:00-10:30 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203	9:00-10:30 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203
10:45-11:40 Продолжительность: 1 Системное программирование Пугачев Николай Группы: 08-508	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Математический анализ Петров Петр Группы: 08-203			10:45-11:40 Продолжительность: 1 Математический анализ Петров Петр Группы: 08-203	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203/08-306
11:50-12:15 Продолжительность: 1 Алгоритмы и структуры данных Николаев Андрей Группы: 08-401	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ Пугачев Николай Группы: 08-203		11:50-12:15 Продолжительность: 1 Функциональный анализ Петрова Дарья Группы: 08-306/08-308/08-305/08-304	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы: 08-203/08-306	
		13:00-14:30 Продолжительность: 1 Робототехника Никитина Антонина Группы: 07-103/07-203/07-304	13:00-14:30 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-306/08-308	13:00-14:30 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Николаев Андрей Группы: 08-306	
14:45-15:00 Продолжительность: 1 Линейная алгебра Пугачев Николай Группы: 08-101/08-102/08-106			14:45-15:00 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы: 08-306		

Результат работы CBR-системы

25

Используемый прецедент



Новый прецедент (пересмотренный)

рг	Пятница	Суббота
	8:30-9:00 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203	
	9:00-10:30 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203	9:00-10:30 Продолж Практику Николаев Группы: 08-306
11:40 олжительность: 1 матическая геометрия ев Андрей ы: 3/08-306	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203	10:45-11:40 Продолж Линейна Пугачев Группы: 08-101/08
	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы: 08-203/08-306	
	13:00-14:30 Продолжительность: 1 Робототехника Никитина Антонина Группы: 07-103/07-203/07-304	

рг	Пятница	Суббот
	8:30-9:00 Продолжительность: 1 Ракетные двигатели Герасимов Дмитрий Группы: 06-303	
	9:00-10:30 Продолжительность: 1 Ракетные двигатели Герасимов Дмитрий Группы: 06-303	9:00-10:30 Продол Практи Никола Группы: 06-306
1:40 олжительность: 1 мическая геометрия ев Андрей и: 06-306	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 06-303	10:45-11:40 Продол Линейн Пугачев Группы: 08-101/0
	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы: 06-303/06-306	
	13:00-14:30 Продолжительность: 1 Робототехника Алексеева Ирина Группы: 07-103/07-203/07-304	

Корректировка расписаний

26

Корректировать расписание

Удалить расписание

Генерировать новое расписание

Сохранить расписание

123

Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
			Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы №: 1/		
Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы №: 1/				Математический анализ Иванов Иван Группы №: 1/	Математический анализ Иванов Иван Группы №: 1/
Системное программирование Пугачев Николай Группы №: 15/	Математический анализ Петров Петр Группы №: 1/	Дискретная математика Петрова Дарья Группы №: 1/10/		Математический анализ Петров Петр Группы №: 1/	Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы №: 1/2/
Алгоритмы и структуры данных Николаев Андрей Группы №: 12/	Практикум ЭВМ Пугачев Николай Группы №: 1/		Функциональный анализ Петрова Дарья Группы №: 2/3/4/5/	Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы №: 1/2/	
		Робототехника Никитина Антонина Группы №: 17/18/19/	Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы №: 2/3/	Аналитическая геометрия Николаев Андрей Группы №: 2/	
Линейная алгебра Пугачев Николай Группы №: 7/8/9/			Практикум ЭВМ Николаев Андрей Группы №: 2/		

Корректировка расписаний

Сохраненное скорректированное расписание

Расписание удовлетворяет требованиям

Расписание

Текущее расписание

Аудитория 123
Вместимость: 100
Не лабораторная

Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота
			8:30-9:00 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203		
9:00-10:30 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203		9:00-10:30 Продолжительность: 1 Дискретная математика Петрова Дарья Группы: 08-203/08-201		9:00-10:30 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203	9:00-10:30 Продолжительность: 1 Математический анализ Иванов Иван Группы: 08-203
10:45-11:40 Продолжительность: 1 Системное программирование Пугачев Николай Группы: 08-508	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Математический анализ Петров Петр Группы: 08-203			10:45-11:40 Продолжительность: 1 Математический анализ Петров Петр Группы: 08-203	10:45-11:40 Продолжительность: 1 Аналитическая геометрия Андреев Андрей Группы: 08-203/08-306
11:50-12:15 Продолжительность: 1 Алгоритмы и структуры	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ		11:50-12:15 Продолжительность: 1 Функциональный анализ	11:50-12:15 Продолжительность: 1 Практикум ЭВМ	

Перспективы развития

- Функциональность программного продукта:
 - возможность ведения справочников с нагрузками преподавателей;
 - возможности агрегирования информации из сторонних источников;
 - настройка соблюдаемых ограничений при составлении вариантов расписаний;
 - интеграция с АСУ МАИ;
 - оповещения студентов и преподавателей;
 - настройка экспорта вариантов расписаний;
- Коммерциализация продукта (онлайн сервис)

Результаты

- Проведен анализ существующих программных продуктов автоматизации составления расписаний.
- Разработан и реализован гибридный алгоритм эффективно решающий задачу составления расписания.
- Реализовано веб-приложение «Система автоматизации составления расписания аудиторных занятий», которое обеспечивает: составление базовых наборов вариантов расписания, корректировку и отображение расписания в удобном виде.
- Выложен исходный код проекта:

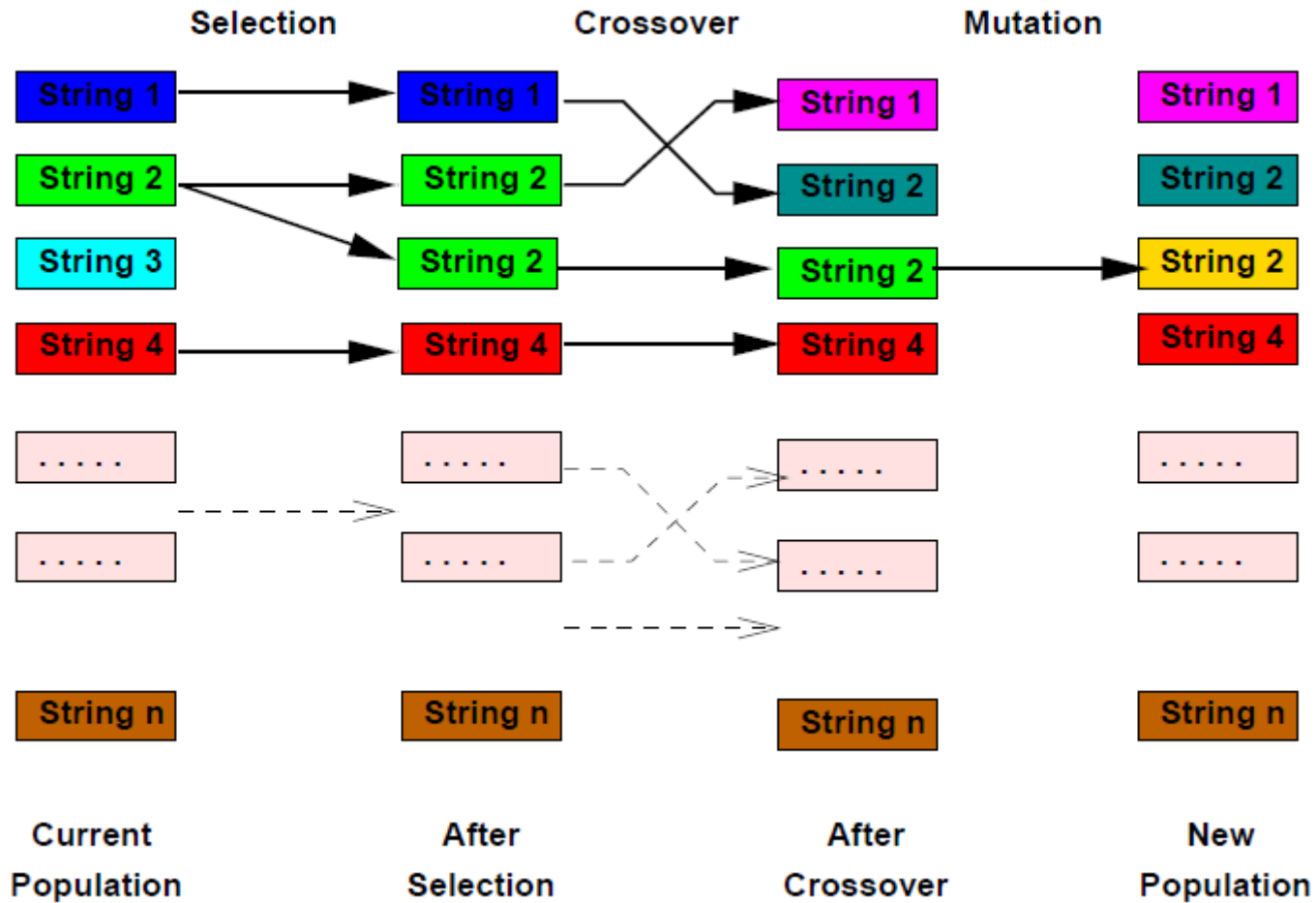
github.com/ratm92/schedule_system



Спасибо за внимание

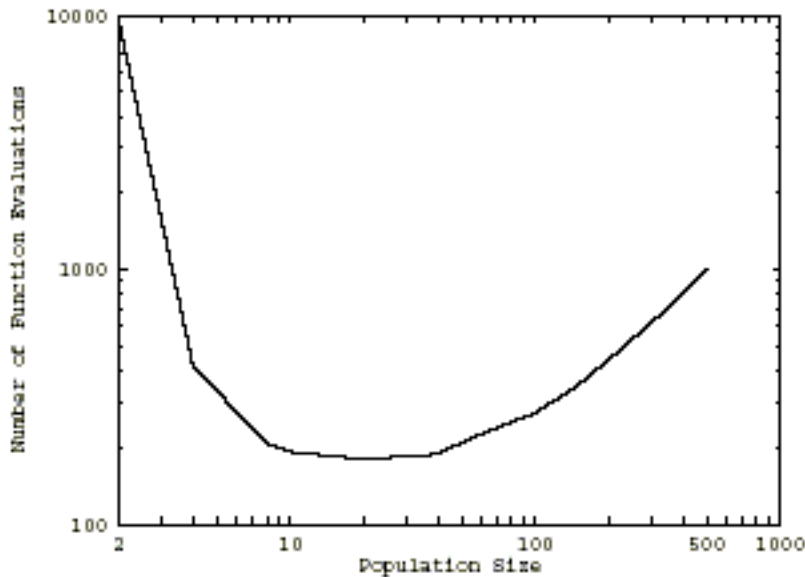
Детализация работы генетического алгоритма

Основные операции генетического алгоритма



Детализация работы генетического алгоритма

Выбор размера популяции:



Конструктор хромосомы:

```
Schedule::Schedule(int numberOfCrossoverPoints, int mutationSize,  
                   int crossoverProbability, int mutationProbability)
```

Инициализация хромосомы:

```
Schedule* prototype = new Schedule( 2, 2, 80, 3 );
```

Конструктор генетического алгоритма:

```
Algorithm::Algorithm(int numberOfChromosomes, int replaceByGeneration, int trackBest,  
                    Schedule* prototype)
```

Инициализация генетического алгоритма:

```
new Algorithm( 100, 8, 5, prototype
```

Генерирование уникальной последовательности чисел при каждом запуске:

```
srand(static_cast<unsigned int>(time(0)));
```

Отсутствие мутации:

```
if( rand() % 100 > _mutationProbability )  
    return;
```

Отсутствие кроссинговера:

```
if( rand() % 100 > _crossoverProbability )  
    return new Schedule( *this, false );
```


Детализация работы генетического алгоритма

```
142-gen
143-gen
144-gen
145-gen
146-gen
147-gen
148-gen
149-gen
150-gen
151-gen
152-gen
Insert cbrcases record - OK
fitness--->1
INSERT INTO courseevents VALUES ('20', '1', 'false', '6', '1', '1', '1', '2', '1/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('19', '1', 'false', '5', '4', '1', '2', '3', '1/2/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('18', '1', 'false', '2', '3', '1', '2', '4', '2/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('17', '1', 'false', '2', '2', '1', '3', '4', '2/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('16', '1', 'false', '5', '6', '1', '3', '4', '1/2/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('15', '1', 'false', '3', '3', '1', '9', '8', '2/3/4/5/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('14', '1', 'false', '8', '2', '1', '7', '5', '7/8/9/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('13', '1', 'false', '2', '4', '1', '4', '7', '17/18/19/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('12', '1', 'false', '5', '1', '1', '3', '5', '1/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('11', '1', 'false', '6', '6', '1', '6', '8', '1/10/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('10', '1', 'false', '1', '5', '1', '5', '4', '12/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('9', '1', 'false', '2', '1', '1', '2', '3', '2/3/', '1')
Insert courseevents record - OK
INSERT INTO courseevents VALUES ('8', '1', 'false', '1', '1', '1', '8', '5', '15/', '1')
```

Математическая модель

Пусть необходимо определить

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_{N_{\text{блоков}}})$$

$$t = (t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{N_{\text{блоков}}})$$

$$\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_{N_{\text{блоков}}}),$$

где $\alpha_i \in A$ – код аудитории, назначенный блоку

занятий $z_i \in Z$; $t_i \in T$ – код учебной пары,

назначенный первому занятию из блока занятий $z_i \in Z$. $\rho_i \in P$ – код преподавателя,

назначенный блоку занятий $z_i \in Z$.

Ограничения:

Отсутствие накладок для аудиторий:

$$\begin{aligned} & \forall (a_i, t_j) : a_i \in A, t_j \in \\ & \in T (\exists! z_k : (a_i = a_k) \wedge (z_k \in Z^{t_j})) \vee \\ & \vee (\neg \exists z_k : (a_i = a_k) \wedge (z_k \in Z^{t_j})), \end{aligned}$$

где Z^{t_k} – множество блоков занятий, проводимых во время пары t_k

Группы объектов:

- Множество обучающихся групп **G**.
- Множество аудиторий **A**.
- Множество дисциплин **D**.
- Множество преподавателей **P**.
- Множество учебных пар **T** (временных интервалов проведения занятий).

Отсутствие накладок для преподавателей:

$$\begin{aligned} & \forall (p_i, t_j) : p_i \in P, t_j \in \\ & \in T (\exists! z_k : (p_i = p_k) \wedge (z_k \in Z^{t_j})) \vee \\ & \vee (\neg \exists z_k : (p_i = p_k) \wedge (z_k \in Z^{t_j})), \end{aligned}$$

где Z^{t_j} – множество блоков занятий, проводимых во время пары t_k

Математическая модель

Отсутствие накладок для студенческих групп:

$$\forall (g_n, t_j) : g_n \in G, t_k \in T \sum z_i^e \leq 1, i \in Z^{g_n} \cap Z^{t_j},$$

где Z^{g_n} – множество блоков занятий, в которых присутствует группа g_n , а Z^{t_j} – множество блоков занятий, проводимых во время пары t_k

Отсутствие окон для учебных групп:

$$\begin{aligned} & \forall (b_\tau, g_n) : b_\tau \in B, g_n \in G \\ & \left(\sum_{i \in I_{g_n}^{b_\tau}} z_i^e = t_max_number_{g_n}^{b_\tau} - \right. \\ & \quad \left. - t_min_number_{g_n}^{b_\tau} + 1 \right) \\ & \wedge (\forall t : t_min_{g_n}^{b_\tau} \leq t \leq \\ & \quad \leq t_max_{g_n}^{b_\tau} \sum_{i: z_i \in Z^{g_n} \wedge t_j^p = t} z_i^e = 1) \end{aligned}$$

$$t_max_number_{g_n}^{b_\tau} - t_min_number_{g_n}^{b_\tau} + 1$$

Соответствие типа аудитории проводимому занятию:

$$\forall z_i \in Z \ a_i \in A^{z_i^a},$$

для каждого блока занятия z_i
 $z_i \in Z$ аудитория выбирается из допустимого подмножества аудиторий, код этого подмножества хранит компонента z_i^a

$$I_{g_n}^{b_\tau} = \{i : (z_i \in Z^{g_n}) \wedge (t_j^d = b_\tau)\}$$

множество номеров блоков занятий, проводимых для группы g_n во время дня b_τ

Требуется найти такой вариант выбора векторов α, t, ρ удовлетворяющий перечисленным ограничениям.