

Математическое и алгоритмическое обеспечение для поддержки принятия решений при составлении расписания

А. В. Ковтуненко, В. М. Мустафин, М. С. Орашанов

Аннотация— В статье рассматривается задача составления учебных расписаний в вузе. Предложено использование баз знаний на основе онтологических моделей данных для хранения сложной структуры данных в образовательном процессе. Проведён сравнительный анализ существующих систем, использующих RDF-технологии (Resource Description Framework). Предложена математическая постановка задачи, алгоритм составления расписания, а также разработана архитектура программной реализации предложенных моделей и алгоритма. Также представлена реализация архитектуры в виде прототипа программного обеспечения, показан пример его работы, проведена оценка эффективности.

Ключевые слова — расписание, образовательный процесс, управление учебным процессом, RDF-технологии, онтологическая модель данных.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача составления учебного расписания является одной из наиболее сложных технических проблем в высших учебных заведениях. Данную задачу можно отнести к классу NP-трудных задач [1], поскольку для решения её требуется учет множества ограничений и критериев оптимальности, таких как, например, доступность аудиторного фонда, оснащённость помещений, пожелания преподавателей, соответствие учебному плану, отсутствие коллизий и минимизация пропусков между учебными занятиями.

График учебного процесса выстроен таким образом, что составление расписания на семестр приходится на каникулярное время. При разработке расписания учебных занятий требуется быстро обрабатывать вручную большие объёмы информации из различных источников, что снижает эффективность принятия решений при управлении учебным процессом.

Статья получена 28 ноября 2025.

А. В. Ковтуненко – старший преподаватель кафедры вычислительной математики и кибернетики, институт информатики, математики и робототехники, Уфимский университет науки и технологий; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4922-2769> (e-mail: alex.kovtunenکو.ufa@mail.ru)

В. М. Мустафин – студент кафедры вычислительной математики и кибернетики, институт информатики, математики и робототехники, Уфимский университет науки и технологий (e-mail: vild.mustafin2017@yandex.ru)

М. С. Орашанов – студент кафедры вычислительной математики и кибернетики, институт информатики, математики и робототехники, Уфимский университет науки и технологий (e-mail: jidtirar@gmail.com)

В настоящее время для решения задачи составления учебных расписаний используются эвристические и метаэвристические методы [2, 3]. На практике повсеместно применяются генетические алгоритмы [4], алгоритмы муравьиных колоний [5] и другие метаэвристики. Эти подходы позволяют находить достаточно хорошие решения за приемлемое время, но не гарантируют их оптимальность, являются достаточно сложными и часто требуют тонкой ручной настройки и корректировки человеком.

Несмотря на наличие множества коммерческих и академических решений [6, 7, 9] универсального подхода к составлению расписания до сих пор не выработано.

Основная сложность заключается в корректной и полной формализации всех ограничений образовательного процесса. Многие существующие системы отличаются жесткостью своей модели данных [7], когда добавление нового типа ограничений требует перепроектирования архитектуры.

Кроме того, существующие решения имеют низкий уровень адаптивности [7]. Они строят статическое расписание на семестр. Однако учебный процесс динамичен: возникают непредвиденные ситуации, такие как перенос, отмена или пересечение занятий, недоступность помещений. Согласно существующему законодательству в области науки и образования [8] существует необходимость создания гибкой и интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления образовательным процессом, в том числе в части управления расписанием. Эффективность такого решения определяется не только мощностью вычислительных методов, но и гибкостью и целостностью лежащей в его основе модели данных, способной аккуратно и полно отразить всю сложность информационной экосистемы образовательной организации.

В качестве базовой модели данных предлагается использование онтологических баз знаний, в частности, RDF-хранилищ (Resource Description Framework) [10].

Важным аспектом является совместимость RDF-подхода с существующими алгоритмами оптимизации. Семантическая модель может служить источником ограничений для генетических алгоритмов или методов удовлетворения ограничений, обеспечивая более полный учет контекстных требований, которые трудно формализовать традиционными способами. Это открывает возможности для создания гибридных систем, сочетающих преимущества семантических

технологий и современных оптимизационных алгоритмов.

В работе предлагается подход к формализации задачи, который позволяет структурировать исходные данные и задать ограничения, необходимые для корректного составления расписания. В качестве основы для реализации модели данных рассматривается технология Semantic Web, обеспечивающая необходимую гибкость, стандартизированность и возможности автоматической верификации данных на уровне RDF-хранилища.

II. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

В последние годы широкое распространение получает использование предметно-ориентированного проектирования на основе онтологических технологий и RDF для решения сложных задач управления учебными процессами. RDF предоставляет собой универсальный способ описания объектов и их отношений, что особенно актуально в проблемно-ориентированных системах, где необходимо интегрировать разнородные данные из нескольких источников, в частности, для составления расписания. RDF-хранилища позволяют представить информацию об учебных программах, объемах обеспечивающих материалов и других образовательных ресурсах в глобальной семантической сети, обеспечивая открытость данных и возможность их интеграции с другими онтологиями.

Одним из ключевых преимуществ RDF является возможность создания онтологий предметной области, которые формализуют знания о учебном процессе. Например, в Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) [9] была разработана OWL-онтология, включающая классы "Факультет", "Кафедра", "Направление подготовки", "Дисциплина" с соответствующими объектными свойствами и свойствами типа данных. Такая модель позволяет явно специфицировать сложные ограничения и взаимосвязи, которые трудно выразить в реляционных схемах, что особенно важно при составлении расписаний с множеством взаимозависимых параметров.

В работе [11, 12] предложен модульный принцип построения онтологий с повторным использованием существующих словарей (VIVO, TEACH, FOAF). Этот подход применен для создания базы знаний интеллектуальной системы доступа к учебно-методической информации в рамках ВУЗа.

В работе [13] продемонстрировано, как использование RDF-хранилищ позволяют проводить анализ социальных взаимодействий между участниками образовательного процесса. Исходные данные, собранные с образовательной платформы Moodle за пять лет, были преобразованы в RDF-формат с использованием специально разработанной образовательной онтологии, которая интегрирует классы и свойства из общепринятых словарей FOAF (для описания пользователей) и SIOC (для моделирования структуры дискуссий и контента). Это позволило создать унифицированную семантическую модель, в которой нет необходимости в частых изменениях схемы данных, в отличие от классических реляционных баз данных.

Предложенная в работе [14] распределенная инфраструктура на основе графов знаний предлагает решение ключевой проблемы ИС (информационной системы) вуза — фрагментарности данных и «островной» автоматизации. Она трансформирует ИС в единое семантическое пространство, где разнородные данные (учебные планы, рабочие программы, библиотечные ресурсы) интегрируются через общую онтологию. Это позволяет преодолеть структурные различия между подразделениями и версиями систем, обеспечивая целостность и согласованность информации.

Практическая ценность для вуза заключается в создании сквозной автоматизации документооборота: от извлечения структурированных данных из PDF-документов в граф знаний до последующей генерации актуальных версий РПД (рабочих программ дисциплин) из этого графа. Использование технологий, таких как Virtuoso [15] и SPARQL [16], обеспечивает масштабируемость и реализуемость подхода. В результате ИС эволюционирует из набора разрозненных сервисов в гибкую семантическую платформу, способную поддерживать распределенную разработку, автоматизировать проверку ограничений и закладывать основу для интеллектуальных сервисов, таких как автоматическое составление расписания и прогнозная аналитика.

Практическим примером использования RDF может служить интеграция расписания с другими университетскими системами через Linked Data [17]. Данные о преподавателях (из HR-системы), аудиторном фонде (из системы управления помещениями) и учебных планах (из образовательного портала) могут быть представлены в RDF и связаны через единые идентификаторы, что обеспечивает целостность информации при автоматическом формировании расписания.

Для работы с RDF-данными в контексте образовательных систем эффективно используется язык запросов SPARQL, который позволяет формулировать сложные запросы к базе данных. Такие запросы могут быть использованы как при автоматическом составлении расписания, так и при его ручной корректировке. Методики визуализации результатов SPARQL-запросов в виде направленных графов, как в сервисе "RDF Grapher" [18], значительно облегчают анализ сложных структур данных.

Несмотря на отмеченные успехи в проектировании сервисов составления расписаний, все вышеперечисленные решения носят фрагментарный характер и не позволяют говорить об унификации и системном подходе к информационному обеспечению образовательных систем. Однако, развитие технологий семантических веб-сервисов и оптимизированных RDF-хранилищ открывает перспективы для создания более интеллектуальных и адаптивных систем управления учебными процессами, способных учитывать сложные взаимосвязи и динамически изменяющиеся требования.

III. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Проектирование концептуальной модели учебного расписания производится в терминах RDF-графа.

(рисунок 1).

Модель включает в себя следующие ключевые элементы:

1. Дисциплины – содержит информацию о дисциплинах (количество лекций, практических занятий, лабораторных работ и пр.). Например, курс “Базы данных” может включать 12 лекций, 6 практических занятий и 6 лабораторных работ.

2. Учебная группа – содержит информацию о формате обучения (очный, заочный, очно-заочный), ограничения на количество пар в день и другие параметры.

3. Преподаватель – содержит информацию о ФИО преподавателя и кафедре, к которой он прикреплен.

4. Аудитория – содержит информацию о типе

аудитории (лекционная, для самостоятельных занятий, для лабораторных работ и т.д.), вместимости аудиторий.

5. Временной слот – содержит информацию об отдельных окнах для расстановки занятий, разбитых на блоки: неделя, день, номер пары.

6. Учебный цикл – содержит информацию о том, какой преподаватель ведёт дисциплину, у какой группы в какое время и в какой аудитории.

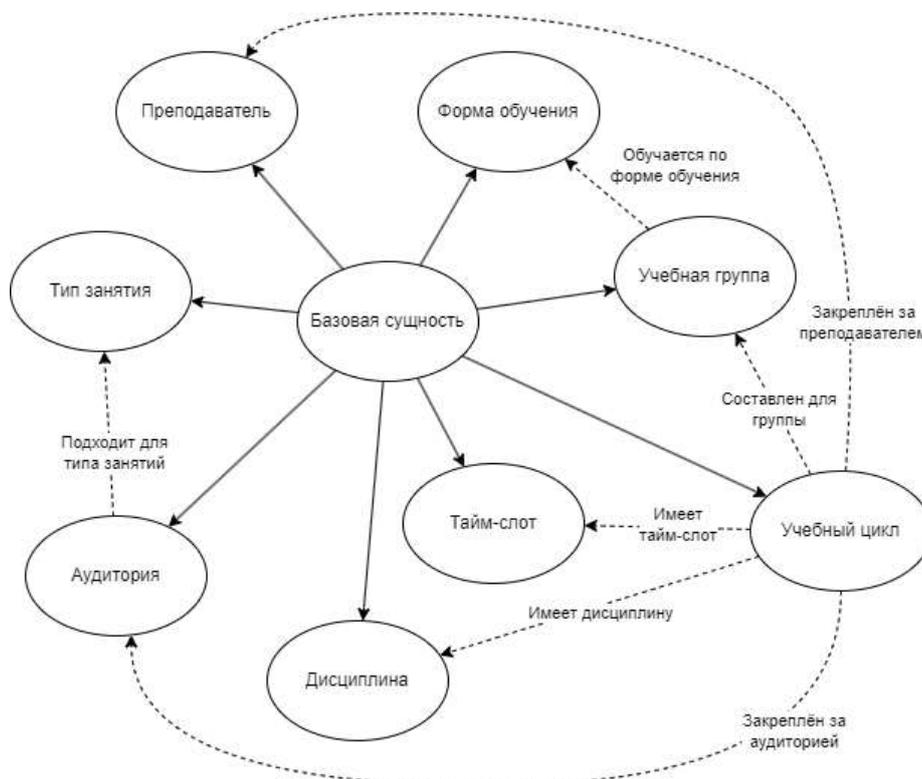


Рис. 1. Концептуальная модель учебного расписания

IV. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Построение математической модели учебного расписания требует формализации всех элементов образовательного процесса и взаимосвязей между ними. В основе модели лежит теоретико-множественный подход, позволяющий четко определить структуру данных и ограничения задачи.

В качестве исходной информации при составлении расписания учебных занятий выступают:

a) D – множество дисциплин изучения, а элемент множества: $d = (n_{lect}, n_{prac}, n_{lab}, n_{ex}, n_{cr})$ – кортеж чисел, где n_z – кол-во занятий типа z для дисциплины d ;

b) G – множество учебных групп;

c) P – множество преподавателей;

d) $T = \{t_k\}$ – множество тайм-слотов, где элемент

множества $t = (week, day, pn)$ – кортеж, состоящий из значений недели, дня и номера пары слота;

e) A – множество аудиторий;

f) $Z = \{lect, prac, lab, cr, ex\}$ – множество типов занятий;

g) $F = \{очная, заочная, очно – заочная\}$ – заочная – множество типов форм обучения;

h) C – множество учебных циклов, где элемент множества

$c = (d, p, g, z, sg), d \in D, p \in P, g \in G, z \in Z$ – кортеж, значения которого – дисциплина, преподаватель, учебная группа и вид занятия, $sg = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ – номер подгруппы, для которой проводится занятие (если равно нулю, значит, участвует вся группа).

i) Функция tt является ключевым элементом математической модели, формализующим само

расписание. Она ставит в соответствие каждому учебному занятию (циклу) $c \in C$ временной слот $t \in T$ (когда проводится занятие) и аудиторию $a \in A$ (где проводится занятие).

$tt : C \rightarrow T \times A$ – расписание

Введем вспомогательную функцию, отображающую для занятия его длительность в соответствии с его типом занятия:

Функция **dur** – возвращает количество пар одного занятия заданного типа z :

$$dur : Z \rightarrow \{1, 2\}, dur(z) = \begin{cases} 1, z \in \{lect, prac, cr\} \\ 2, z \in \{lab, ex\} \end{cases}$$

Выделим следующие ограничения модели:

1) *Отсутствие коллизий в занятиях учебных групп*

$$\forall c_1, c_2 \in C : (c_1 \neq c_2 \wedge g_1 \neq g_2 \wedge sg_1 \neq sg_2) \wedge \wedge (week_1 \neq week_2 \vee day_1 \neq day_2 \vee \vee dur(z_1) + pn_1 \leq pn_2 \vee dur(z_2) + pn_2 \leq pn_1)$$

где g_1, g_2 – группы из C_1, C_2 , $(week_1, day_1, pn_1) = t_1$ из $tt(c_1) = (t_1, a_1)$ (аналогично для c_2), z_1, z_2 – типы занятий из C_1, C_2 .

$dur(z_1) + pn_1 \leq pn_2$ означает, что временной интервал занятий не перекрывается. Занятие c_1 занимает интервал $[pn_1, pn_1 + c_dur(c_1) - 1]$ (например, если $pn_1, c_{dur(c_1)} = 2$, то занятие займет пары: [2, 3]).

2) *Отсутствие коллизий аудиторий*

$$\forall c_1, c_2 \in C : (c_1 \neq c_2 \wedge a_1 = a_2) \wedge \wedge (week_1 \neq week_2 \vee day_1 \neq day_2 \vee \vee dur(z_1) + pn_1 \leq pn_2 \vee dur(z_2) + pn_2 \leq pn_1)$$

3) *Отсутствие коллизий среди преподавателей*

$$\forall c_1, c_2 \in C : (c_1 \neq c_2 \wedge p_1 = p_2) \wedge \wedge (week_1 \neq week_2 \vee day_1 \neq day_2 \vee \vee dur(z_1) + pn_1 \leq pn_2 \vee dur(z_2) + pn_2 \leq pn_1)$$

4) *Число проведенных пар в течение дня для каждой учебной группы не должно превышать заданное в соответствии с формой обучения.*

$$\forall g \in D, d \in Days :$$

$$\sum_{\substack{c_i \in C \\ g_j = g \\ \pi(tt(c_i)) = d}} dur(c_i) \leq \max_pairs(form(c_i)) \quad \text{где}$$

$Days = \{day \mid (week, day, pn) \in T\}$ – множество учебных дней; $\pi(tt(c_i))$ – проекционная функция:

$\pi((week, day, pn), a) = day$; $form : G \rightarrow F$ – функция, определяющая форму обучения для каждой группы; $\max_pairs : F \rightarrow N$ – функция максимального количества пар в день для каждой формы.

5) *Соответствие типа аудитории виду занятия*

$$\forall c \in C, c = (d, p, g, z, gs), tt(c) = (t, a) : z \in aud_type(a)$$

где $aud_type : A \rightarrow Z$ – функция определения типа занятий, соответствующего аудитории.

б) *Необходимость проведения запланированных на семестр занятий в полном объеме*

$$\forall d \in D, \forall g \in G, \forall z \in Z : \sum_{\substack{c_i \in C \\ d_i = d \\ z_i = z \\ g_i = g}} dur(z) = n_z(d_i) \cdot dur(z),$$

где $n_z(d, z) : D \times Z \rightarrow N$ – функция, возвращающая количество занятий типа z для дисциплины d .

Требуется составить расписание tt , удовлетворяющее всем указанным ограничениям и минимизирующее дополнительные критерии (например, равномерность нагрузки, минимизация "окон" и т. д.).

V. АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Предлагаемый алгоритм составления учебных расписаний реализует комплексный подход к формированию и управлению расписанием занятий с использованием семантических технологий.

Процесс начинается с выбора режима формирования расписания, после чего пользователь заполняет необходимые параметры – данные об учебных группах, преподавателях, аудиторном фонде и других ресурсах. Система предоставляет возможность просмотра сформированного расписания в удобном недельном формате с функциями ручного управления и корректировки. По завершении формирования расписания составителем, оно отправляется на сервер приложения, где преобразуется в RDF-граф.

Следующим этапом является семантическая валидация расписания, которая выполняется на стороне RDF-хранилища. Данные сопоставляются со структурой модели, заложенной в онтологии, что исключает логическую противоречивость. Валидация выявляет все типы коллизий: конфликтующие назначения аудиторий, преподавателей, учебных групп и т. д. При обнаружении противоречий система генерирует уведомления с детализацией выявленных проблем (например, "Преподаватель Иванов А.А. назначен на два занятия в один временной слот"), что позволяет пользователю оперативно внести корректировки в расписание.

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма.



Рис 2. Блок-схема алгоритма.

VI. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

В основе программного обеспечения лежит клиент-серверная архитектура с RDF-хранилищем в качестве семантического ядра (рисунок 3).

Интерфейс выступает в качестве клиентской части, посредством которой пользователь взаимодействует с

системой. Запросы от клиента обрабатываются на сервере приложения, который организует взаимодействие с хранилищем – преобразует данные из формата клиента (JSON/XML) в RDF-триплеты, инициирует транзакции с RDF-хранилищем, переводит SPARQL-ответы и возвращаемые ошибки в понятный клиенту формат. За данные операции отвечает слой доступа к данным.



Рис 3. Общая архитектура системы.

Представленная архитектура обеспечивает четкое разделение функционала между компонентами системы, где модуль доступа к данным абстрагирует работу с семантическим хранилищем.

VII. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ

Разработанный алгоритм реализован в виде программного модуля составления учебного расписания. Для оценки эффективности работы программного решения рассмотрен следующий пример: требуется составить расписание на семестр для учебных групп очной формы обучения «БИ-101» и «БИ-102» по дисциплинам «Математический анализ», «Программирование», «Базы данных», которые ведут преподаватели «Иванов А.А.», «Петров В.В.» и «Сидоров С.С.» соответственно. Доступны аудитории 101, 401 (лекционные), 201 (для практик) и 301 (лаборатория). Максимальное количество пар в день – 4, длительность лабораторных работ – 2 занятия.

Пользователь выбирает режим формирования расписания и вводит исходные параметры: информацию о режиме расписания, даты его действия, данные о дисциплинах, учебных группах, преподавателях и аудиториях (рисунок 4).

Форма ввода данных для составления расписания

Поэтапное заполнение параметров в соответствии с алгоритмом системы

1

Режим расписания

Выбор типа расписания и периода

2

Учебные группы

Добавление групп студентов

3

Дисциплины

Настройка учебных дисциплин

4

Преподаватели

Распределение преподавателей

5

Аудитории

Настройка аудиторного фонда

6

Ограничения

Настройка правил составления

7

Проверка

Валидация входных данных

Режим расписания

Экзаменационная сессия

Дата начала

ДД.ММ.ГГГГ

Дата окончания

ДД.ММ.ГГГГ

Назад

Далее

Рис. 4. Ввод исходных параметров расписания.

После заполнения исходных данных расписания на сервер приложения. На сервере расписание происходит заполнение таймслотов. По завершении составления расписания (рисунки 5-6), оно отправляется преобразуется в формат, понятный RDF-хранилищу.

Расписание группы БИ-101

День недели	Пара 1 09:00-10:30	Пара 2 10:40-12:10	Пара 3 13:00-14:30	Пара 4 14:40-16:10
Понедельник	Математический анализ лекция зуд. 101 Иванов А.А.	Математический анализ: практика зуд. 201 Новикова А.А.	Программирование лекция зуд. 401 Петров С.С.	Программирование практика зуд. 201 Петров С.С.
Вторник	Базы данных: лекция зуд. 101 Сидоров С.С.	Базы данных: практика зуд. 201 Сидоров С.С.	Математический анализ лекция зуд. 301 Рябенко К.А.	Математический анализ лекция зуд. 301 Рябенко К.А.
Среда	Программирование лекция зуд. 301 Петров С.С.	Программирование лекция зуд. 301 Петров С.С.	—	—
Четверг	—	Математический анализ лекция зуд. 101 Новикова А.А.	Базы данных: лекция зуд. 301 Сидоров С.С.	Базы данных: лекция зуд. 301 Сидоров С.С.
Пятница	Программирование лекция зуд. 301 Петров С.С.	Программирование лекция зуд. 301 Петров С.С.	—	—

Рис. 5. Сформированное расписание для группы «БИ-101».

Расписание группы БИ-102

День недели	Пара 1 09:00-10:30	Пара 2 10:40-12:10	Пара 3 13:00-14:30	Пара 4 14:40-16:10
Понедельник	Базы данных лекция к.д. 401 Сидоров С.С.	—	Базы данных практика к.д. 301 Сидоров С.С.	Математический анализ лекция к.д. 101 Иванов А.А.
Вторник	Программирование лекция к.д. 401 Петров В.В.	Программирование практика к.д. 301 Петров В.В.	Математический анализ лекция к.д. 301 Иванов А.А.	Математический анализ лекция к.д. 301 Иванов А.А.
Среда	Базы данных лекция к.д. 301 Сидоров С.С.	Базы данных лекция к.д. 301 Сидоров С.С.	—	—
Четверг	Математический анализ лекция к.д. 101 Иванов А.А.	—	Программирование лекция к.д. 301 Петров В.В.	Программирование лекция к.д. 301 Петров В.В.
Пятница	—	—	—	—

Рис. 6. Сформированное расписание для группы «БИ-102».

В случае обнаружения конфликтов при добавлении нового расписания, на клиент отправляется соответствующее уведомление для того, чтобы пользователь скорректировал расписание (рисунки 7).

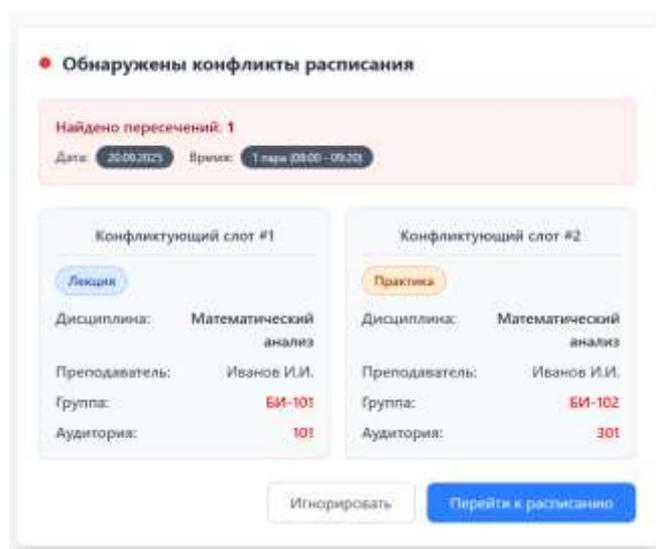


Рис. 7. Уведомление о коллизиях в расписании.

После устранения конфликтов и успешной валидации расписание сохраняется в RDF-хранилище.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена концептуальная модель составления учебного расписания в вузе, учитывающая основные сущности, участвующие в процессе составления учебного расписания. Разработана математическая модель учебного расписания, которая формализует ограничения и позволяет четко определить структуру задачи.

Реализован подход к структурированию данных при составлении расписания с использованием онтологических моделей. Масштабируемость решения обеспечивается архитектурой системы составления расписания, основанной на четком разделении

функционала между её компонентами, что создаёт основу для дальнейшего расширения функциональности и адаптации к изменяющимся требованиям образовательного процесса.

Таким образом, представленное решение является шагом к преодолению фрагментарности в автоматизации учебного процесса и создает основу для построения комплексной экосистемы образовательной организации.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворянkin А. М., «Методы автоматизации составления расписания занятий часть 2. Эвристические методы оптимизации», ВГТУ, 2009. [Электронный ресурс]. URL: https://aimfirst.ru/docs/science/article/32-article3_sidorin.pdf
- [2] Воробович Н. П., Лопатеева О. Н., «О NP-полноте задач формирования расписания в вузе», Вестник КрасГАУ, вып. 11, с. 385–391, 2006. EDN: KYHUWB
- [3] Еникеев Т. В., «Разработка эвристических алгоритмов составления расписания зачетно-экзаменационной сессии студентов заочной формы обучения и анализ их эффективности», Вестник УГАТУ, т. 8, № 1, 2006. [Электронный ресурс]. URL: <http://journal.ugatu.su/index.php/Vestnik/article/view/2024>
- [4] Кабальнов Ю. С., Шехтман Л. И., Низамова Г. Ф., Земченкова, «Композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий», Вестник УГАТУ, т. 7, № 2, с. 99–107, 2006. EDN: HVNKLX
- [5] Шконда И. А., Финошкин Д. Б., Заревич А. И., «Применение генетических алгоритмов в составлении расписания в вузе», в Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Перспективные аспекты моделирования систем и процессов", Воронеж, Россия, 2023, с. 476–487. EDN: VEUMSD
- [6] Паняева А. С., Галямудинов Р. Ж. Автоматизированная система составления расписания учебных занятий в вузе. Современные технологии в российской и зарубежных системах образования: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 апреля 2019 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 74–78. EDN: SJEWJH.
- [7] Глуценко В. А., Шленкин Д. В., Минасов Ш. М., «Повышение эффективности процесса составления расписания высшего учебного заведения», в Сборник статей всероссийской научной конференции "Интеграция науки, производства, промышленности и инноваций", СПб., Россия, 2024, с. 40–48. EDN: AOJML0
- [8] «Стратегия цифровой трансформации». [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1064/>

- [9] Фролова Н. Б., «Разработка OWL-онтологии образовательных ресурсов СГТУ», Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии, № 3, с. 149–158, 2016. EDN: WZISVP
- [10] Ковтуненко А. В., Ковтуненко А. С., «Управление реализацией индивидуальных образовательных траекторий в высшей школе на основе онтологической модели данных», Системная инженерия и информационные технологии. 2023. Т. 5. № 6 (15). С. 17-23. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-но6-p17
- [11] Ворона С. П., Савкова Е. О., «Использование онтологического моделирования при разработке интеллектуальной системы доступа к учебно-методической информации», в *Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции "Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020)*», Донецк, 2020, с. 208–213. EDN: DFKBSC
- [12] Ворона С. П., Савкова Е. О., «Онтологическая модель базы знаний интеллектуальной системы доступа к учебно-методической информации», в *Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции "Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020)*», Донецк, 2020, с. 263–268. EDN: HBIJMC
- [13] Dragulescu B., Bucos M., and Vasii R., "Social Network Analysis on Educational Data Set in RDF Format," Journal of Computing and Information Technology, vol. 23, pp. 269–281, 2015. DOI:10.2498/cit.1002645
- [14] Черкашин Е. А., Попова В. А., «Распределенная инфраструктура для обработки документов образовательного процесса, основанная на графах знаний», Электронный научный журнал "Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами", № 4(16), с. 44–55, 2022. [Электронный ресурс]. DOI: 10.26731/2658-3704.2022.4(16).44-55
- [15] Erling O., "Virtuoso, a Hybrid RDBMS/Graph Column Store," IEEE Data Eng. Bull., vol. 35, pp. 3–8, 2012. <http://sites.computer.org/debull/A12mar/vicol.pdf>
- [16] Навроцкий М. А., Жукова Н. А., Муромцев Д. И., «Онтология проектирования, применения и сопровождения порталов научно-технической информации», Онтология проектирования, № 1(27), 2018. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-96-109
- [17] Bizer C., Heath T., and Berners-Lee T., "Linked Data – The Story So Far," Int. J. Semantic Web Inf. Syst., vol. 5, no. 3, pp. 1–22, 2009.
- [18] "RDF Grapher". [Электронный ресурс]. URL: <https://jkr.github.io/rdf-grapher/>

Mathematical and algorithmic support for decision-making in timetable compilation

A.V. Kovtunenکو, V.M. Mustafin, M.S. Orashanov

Abstract — The problem of developing a timetable in a university is considered in this article. Using of knowledge bases based on ontological data models for storing complex data structures in the educational process is suggested. A comparative analysis of existing systems using RDF (Resource Description Framework) technologies is provided. A mathematical formulation of the problem and an algorithm for developing curriculum are proposed, along with a software architecture for implementing the proposed models and algorithm. A software prototype of the architecture, a working example, and an evaluation of its effectiveness are also presented.

Keywords — timetable, educational process, educational process management, RDF technologies, ontological data model.

REFERENCES

- [1] Sidorin A. B., Likucheva L. V., Dvoryankin A. M., «Methods of automation of drawing up of the schedule of employment. part 2. heuristic methods of optimization», VGTU, 2009. [Online] URL: https://aimfirst.ru/docs/science/article/32-article3_sidorin.pdf
- [2] Vorobovich N. P., Lopateeva O. N., "On the NP-completeness of tasks for creating a schedule at a university," Vestnik KrasGAU, issue 11, p. 385-391, 2006. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: KYHUWB
- [3] Enikeev T. V., "Development of Heuristic Algorithms for Scheduling the Examination Session for Part-Time Students and Analysis of Their Effectiveness," Vestnik UGATU, vol. 8, no. 1, 2006. [Online]. URL: <http://journal.ugatu.su/index.php/Vestnik/article/view/2024>
- [4] Kabalnov Yu. S., Shekman L. I., Nizanova G. F., Szemchenkova N. A., «Composite genetic algorithm of working out a schedule of classes», Vestnik UGATU, vol. 7, no. 2, pp. 99–107, 2006. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: HVHKLX
- [5] Shkonda I. A., Finoshkin D. B., Zarevich A. I., «Application of genetic algorithms in schedule development at university», in Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Promising Aspects of Modeling Systems and Processes", Voronezh, Russia, 2023, pp. 476-487. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VEUMSD
- [6] Panyaeva A. S., Galyamutdinov R. Zh., «Automated scheduling system for university», Modern technologies in Russian and foreign education systems: collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference, Penza, April 22-23, 2019. - Penza: Penza State Agrarian University, 2019. - pp. 74-78. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: SJEWJH.
- [7] Glushenko V. A., Shlyonkin D. V., Minasov Sh. M., «Improving the efficiency of the scheduling process of a higher education institution» in the Collection of articles of the All-Russian Scientific Conference "Integration of Science, Production, Industry and Innovation," St. Petersburg, Russia, 2024, pp. 40-48. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: AOJMLO
- [8] «Digital Transformation Strategy». [Online]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1064/>
- [9] Frolova N. B., «Owl-ontology development of educational resource sstu», Vestnik VGU. Series: Systems Analysis and Information Technology, no. 3, p. 149-158, 2016. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WZISVP
- [10] Kovtunenکو A. V., Kovtunenکو A. S., «Management of the implementation of individual educational trajectories in higher school based on ontological data model». Systems engineering and information technology. 2023. Vol. 5. no 6 (15). pp. 17-23. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no6-p17
- [11] Vorona S., Savkova E., «Use of ontological modeling in the development of an intellectual system of access to educational and methodical information», in * Collection of materials of the XI International Scientific and Technical Conference "Informatics, Control Systems, Mathematical and Computer Modeling (IUSMKM-2020) "*, Donetsk, 2020, pp. 208-213. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: DFKBSC
- [12] Vorona S., Savkova E., «Ontological model of the knowledge base of an intellectual system of access to educational and methodological information», in * Collection of materials of the XI International Scientific and Technical Conference "Informatics, Control Systems, Mathematical and Computer Modeling (IUSMKM-2020) "*, Donetsk, 2020, pp. 263–268. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: HBIJMC
- [13] Dragulescu B., Bucos M., and Vasiu R., "Social Network Analysis on Educational Data Set in RDF Format," Journal of Computing and Information Technology, vol. 23, pp. 269–281, 2015. DOI:10.2498/cit.1002645
- [14] Cherkashin E. A., Popova V. A. Knowledge graph based distributed infrastructure for processing education process documents. Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal, 2022. no. 4(16). pp. 44-55. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.26731/2658-3704.2022.4(16).44-55
- [15] Erling O., "Virtuoso, a Hybrid RDBMS/Graph Column Store," IEEE Data Eng. Bull., vol. 35, pp. 3–8, 2012. [Online]. URL: <http://sites.computer.org/debull/A12mar/vicol.pdf>
- [16] Navrotskiy M. A., Zhukova N. A., Mouromtsev D. I., «Ontology for design, application and support of scientific and engineering data portals», Design Ontology, no. 1 (27), pp. 96-109. 2018. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-96-109
- [17] Bizer C., Heath T., and Berners-Lee T., "Linked Data – The Story So Far," Int. J. Semantic Web Inf. Syst., vol. 5, no. 3, pp. 1–22, 2009. DOI:10.4018/jswis.2009081901
- [18] "RDF Grapher". [Online]. URL: <https://jekyll.github.io/rdf-grapher/>