

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖКОМПЕТЕНТНОСТНЫХ СВЯЗЕЙ

Михайлова Анастасия Николаевна¹,

аспирант,

e-mail: micannic@gmail.com

Филиппова Анна Сергеевна¹,

д-р техн. наук, профессор,

e-mail: annamuh@mail.ru

¹Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В статье рассматривается процесс формирования компетенций с учетом времени их достижения. Применение системного подхода позволило сформулировать задачу построения индивидуального образовательного маршрута с минимизацией времени обучения. Предложена математическая модель в виде модификации задачи маршрутизации. Для представления исходных данных используется ориентированный взвешенный граф, где вершинами выступают индикаторы достижения компетенций, а веса дуг отражают асимметричное влияние последовательности изучения учебных тем на временные затраты. Разработан гибридный подход, сочетающий нейросетевые технологии и классические методы экспертной оценки для автоматизации выявления межкомпетентностных связей учебных тем. Для формирования индивидуального образовательного маршрута используется прикладной программный модуль на основе генетического алгоритма. Описан пример практического использования предложенного подхода на основе образовательного модуля «Цифровая грамотность». Проведен вычислительный эксперимент, подтверждающий эффективность предложенного подхода для формирования индивидуальных образовательных маршрутов, минимизирующих временные затраты при сохранении полноты освоения требуемых компетенций.

Ключевые слова: индивидуальный образовательный маршрут, маршрутизация, индикаторы достижения компетенций, минимизация времени обучения, межкомпетентностные связи, экспертная оценка, генетический алгоритм, системный подход

A HYBRID APPROACH FOR OPTIMIZING INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORIES BASED ON MODELING INTER-COMPETENCE RELATIONSHIPS

Mikhailova A.N.¹,

postgraduate student,

e-mail: micannic@gmail.com

Filippova A.S.¹,

doctor of technical sciences, professor,

e-mail: annamuh@mail.ru

¹Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia

The article describes the process of developing competencies, taking into account the time it takes to achieve them. A systems approach allowed us to formulate the problem of constructing an individual educational route while minimizing training time. A mathematical model is proposed as a modification of the routing problem. A directed weighted graph is used to represent the initial data, where the vertices represent competency achievement indicators, and the arc weights reflect the asymmetric impact of the

sequence of studying educational topics on time costs. A hybrid approach has been developed that combines neural network technologies and classical expert assessment methods to automate the identification of intercompetency connections between educational technologies. An application software module based on a genetic algorithm is used to create an individual educational route. An example of the practical application of the proposed approach based on the “Digital Literacy” educational module is described. A computational experiment confirming the effectiveness of the proposed approach for creating individual educational routes that minimize time costs while maintaining the complete acquisition of the required competencies is conducted.

Keywords: individual educational route, routing, indicators of achievement of competencies, minimization of training time, intercompetence links, expert assessment, genetic algorithm, systems approach

Введение

Современное образование представляет собой иерархическую, многосвязную систему, эффективность функционирования которой определяется не только составом элементов (методов и технологий), но и структурой взаимосвязей между ними. Переход к вариативным моделям обучения, продиктованный задачей формирования практико-ориентированных компетенций, требует анализа данной системы как динамической, способной адаптироваться к современным требованиям, внешним и внутренним изменениям. К числу таких изменений относятся:

- инновационные подходы к обучению и переобучению [1, с. 32–39; 2, с. 7–15];
- учет индивидуальных особенностей и требований участников образовательного процесса [3, с. 7–12];
- интеграция цифровых технологий, в том числе нейросетей, выступающих в роли инструментов, повышающих эффективность образовательного процесса и управляющих подсистем [4, с. 42–51];
- интеграция нетрадиционных подходов к обучению, проектной деятельности в различных форматах, например, таких как хакатоны и идеатоны [5, с. 7–17].

Цель исследований и трансформаций в сфере образования – это повышение эффективности образовательного процесса с учетом реалий и вызовов современного мира. Таким образом, ключевой проблемой являются задачи оптимизации образовательного процесса по различным критериям [3, с. 7–12; 6; 7, с. 111–125].

В данной статье предлагается системный подход к формированию индивидуального образовательного маршрута. Основной оптимизационной задачей является поиск последовательности учебных элементов (курсов, дисциплин), которые обеспечивают достижение целевого уровня компетентности за минимальное время. Сложность решения данной задачи обусловлена тем, что формирование компетентности является трудно формализуемым и многокритериальным процессом, включающим способность саморазвития, учета индивидуальных характеристик каждого обучающегося, экспертные мнения по выявлению и оценке взаимосвязи содержательной части дисциплин для принятия решения о выборе учебных элементов [8, с. 348–358].

Актуальность исследования продиктована необходимостью перехода от статической модели образования к динамической, персонализированной, способной адаптировать свою структуру под индивидуальные параметры. В терминах системного анализа это означает переход к построению адаптивных систем управления обучением, где объектом управления выступает индивидуальный образовательный маршрут (ИОМ) с минимизацией времени обучения.

В рамках настоящего исследования ИОМ с минимизацией времени обучения рассматривается как вектор состояний в многомерном пространстве компетенций, где каждое последующее состояние зависит от предыдущего. Задача формирования ИОМ с минимизацией времени обучения сводится к определению оптимальной траектории в этом пространстве, минимизирующей время достижения целевого состояния. Для ее решения необходим анализ структурных взаимосвязей между дисциплинами, формализация влияния порядка их изучения на скорость формирования компетенций и выбор критериев оптимальности.

1. Задача формирования индивидуального образовательного маршрута с минимизацией времени обучения

Образовательный курс рассматривается как сложная иерархическая система, подлежащая декомпозиции на составляющие элементы. На верхнем уровне система представлена совокупностью дисциплин, каждая из которых, в свою очередь, детализируется до уровня учебных тем. Конечными элементами декомпозиции выступают индикаторы достижения компетенций (ИДК), освоение которых является целью образовательного процесса.

В традиционной модели обучения длительность изучения каждой темы задаётся нормативно (в академических часах) и фиксируется в рабочей программе дисциплины (РПД), согласованной с учебным планом (УП). Однако эмпирически выявлено наличие межкомпетентностных связей между ИДК [7, с. 111–125; 9, с. 154–172], вследствие чего степень и последовательность освоения одного индикатора может влиять на временные затраты, необходимые для освоения другого. Важно отметить, что данные взаимосвязи носят асимметричный характер: эффект сокращения времени изучения ИДК₁ после предварительного освоения ИДК₂ не равен эффекту сокращения времени для обратной последовательности (ИДК₂ после ИДК₁).

Задача ИОМ с минимизацией времени обучения обладает важной спецификой. Время освоения ИДК носит не статический, а динамический характер, зависящий от уже пройденного пути (изученных учебных тем), и может быть асимметричным.

Таким образом, задача оптимизации формулируется следующим образом: для заданного набора учебных тем и выявленных асимметричных зависимостей между соответствующими им индикаторами (ИДК) требуется определить такую последовательность (порядок) изучения тем, при которой суммарные временные затраты на полное освоение всего набора требуемых компетенций будут минимальны. Решением данной задачи является индивидуальный образовательный маршрут, состоящий из последовательности тем для изучения.

Постановка задачи формирования ИОМ с минимизацией времени обучения

Дано:

m – число необходимых компетенций для освоения;

$v_i, i = \overline{1, m}$ – набор необходимых компетенций в виде индикаторов достижения компетенций (ИДК);

$p_i, i = \overline{1, m}$ – нормативное количество академических часов для освоения ИДК, которое определяется по учебной теме в рабочей программе дисциплины, согласованной с учебным планом;

A – асимметричная матрица коэффициентов взаимосвязи ИДК, где элементы $a_{ij} \in [0; 1]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$ указывают коэффициент взаимосвязи содержания учебных тем i -ой и j -ой, формирующих соответствующие ИДК, при условии, что v_j осваивается после v_i . Тогда время фактического освоения p_j^0 будет равно произведению коэффициента и времени по плану, т.е. $p_j^0 = a_{ij} * p_j$. Например, если $a_{ij} = 1$, то на освоение v_j после v_i требуется полное время p_j по плану, а чем меньше значение коэффициента, тем больше взаимности между содержанием учебных тем, формирующих ИДК. Таким образом, элементы матрицы A показывают влияние i -го освоенного ИДК на изменение количества часов при освоении последующего j -го ИДК (определяется методами экспертной оценки).

Требуется найти ИОМ: последовательность освоения компетенций (последовательность изучения учебных тем) из всех $v_i, i = \overline{1, m}$, при которой совокупные временные затраты на освоение всех ИДК (компетенций) будут минимальны.

Математическая модель задачи. $M(V, E, C)$ – ориентированный взвешенный граф, где множество V – вершины графа $\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$;

$E = V \times V$ – множество ориентированных ребер e_{ij} , $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$, последовательность освоения v_j после v_i ;

$C = \{c_{ij}\}$ – матрица весов ориентированного ребра (матрица расстояний), элементы которой означают время фактического освоения v_j после v_i : $c_{ij} = a_{ij} * p_j$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$.

Требуется найти последовательность вершин $I = v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_m}$, в которой все вершины различны, и соответствующее множество смежных ребер $E(I) = \{e_{ij}\}$, при минимизации

$$f(I) = \sum_{(i,j): e_{ij} \in E(I)}^m c_{ij}.$$

Таким образом, целевая функция данной оптимизационной задачи формирования ИОМ сводится к минимизации совокупных временных затрат на освоение всех ИДК.

Следует заметить, что данная задача сводится к задаче комбинаторной оптимизации – задаче построения кратчайшего маршрута. Известно множество постановок задач маршрутизации (TSP – Traveling Salesman Problem) с различными условиями и ограничениями [10, с. 6–10]. ИОМ с минимизацией времени обучения представляет собой незамкнутый маршрут коммивояжера. Для решения задач TSP используются как точные алгоритмы и методы, например, метод ветвей и границ, так и широкий круг эвристических и метаэвристических алгоритмов, таких как ближайший сосед, имитация отжига, генетические алгоритмы, метод муравьиной колонии и др. Эвристики и метаэвристики показывают свою эффективность и позволяют находить приближённо оптимальные решения для практических задач.

В качестве направления дальнейших исследований следует отметить, что в методику решения задачи ИОМ с минимизацией времени обучения целесообразно включить дополнительные ограничения реального образовательного процесса. Это обуславливает отличие модели задачи ИОМ от классической задачи коммивояжера. К ограничениям относятся пререквизиты – жёсткие логические зависимости, запрещающие изучение некоторых тем до освоения других; ресурсные ограничения, связанные с когнитивной нагрузкой, доступностью педагогов или технических средств; и, наконец, индивидуальные особенности обучающегося, которые делают «скорость передвижения» между темами уникальной для каждого человека, переводя задачу в плоскость глубокой персонализации.

Таким образом, формально задача ИОМ с минимизацией времени обучения может быть представлена как поиск маршрута на взвешенном орграфе, где вершинами являются ИДК, а веса ребер отражают временные затраты на переход между ними с учётом асимметричных дидактических влияний. Пример орграфа ИДК представлен на рисунке 1.

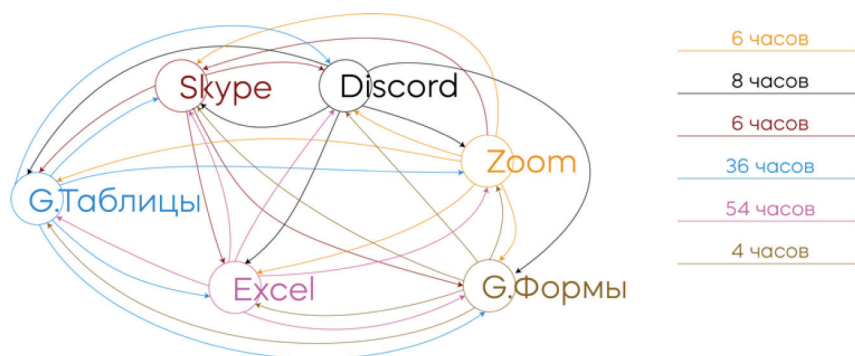


Рисунок 1 – Орграф ИДК для задачи формирования оптимального ИОМ с минимизацией времени обучения

Далее рассмотрим процесс получения решения данной задачи. Одним из слабоформализуемых и трудозатратных этапов этого процесса является формирование матрицы A коэффициентов взаимосвязи ИДК. Следует отметить, что использование для этого методов экспертной оценки с привлечением только реальных специалистов из сферы образования (преподавателей, методистов, специалистов по организации учебного процесса) является с практической точки зрения малоэффективным. Это связано с большим разнообразием существующих образовательных курсов и их содержательной наполненностью, с ограниченной специализацией экспертов, трудозатратностью самого анализа. Поэтому, для упрощения процедуры формирования матрицы A коэффициентов взаимосвязи ИДК предлагаем включить в этот этап технологии искусственного интеллекта, которые помогут сократить количество

привлекаемых экспертов и расширить адаптивность и динамику для системы формирования индивидуального образовательного маршрута с минимизацией времени обучения.

2. Гибридный подход к решению задачи формирования ИОМ с минимизацией времени обучения

Для формирования ИОМ с минимизацией времени обучения предлагается следующий гибридный подход с использованием мнений экспертов и нейросетей.

1. Формирование базовой матрицы времени освоения компетенций. На начальном этапе конструируется базовая матрица, элементы которой отражают нормативную длительность изучения каждой учебной темы.

2. Построение межкомпетентностных связей и матрицы A коэффициентов взаимосвязи ИДК.

2.1. Подготовка промпта для большой языковой модели, для формирования взаимозависимых учебных тем – межкомпетентностных связей.

2.2. Расчёт матрицы A . На основе подготовленного промпта нейросетью выполняется оценка межкомпетентностных связей, результатом которой является матрица A коэффициентов взаимосвязи ИДК.

2.3. Экспертная оценка. Полученная матрица A проходит процедуру содержательной проверки и корректировки со стороны экспертов для устранения ошибок и повышения достоверности модели.

3. Построение маршрута. Входные данные, включающие набор требуемых индивидуальных компетенций, базовую матрицу времени изучения тем, матрицу A коэффициентов взаимосвязи ИДК и параметры генетического алгоритма для поиска минимального маршрута, вводятся в разработанный авторами прикладной программный модуль (ППМ) [11]. ППМ осуществляет поиск последовательностей изучения тем, минимизирующих совокупные временные затраты на обучение.

4. Отбор и адаптация решений. Результатом работы модуля является набор кандидатных ИОМ с минимальным временем обучения. Каждый из вариантов проходит содержательную оценку на предмет методической реализуемости и персонализации предпочтений, например, желание овладеть некоторыми компетенциями в первую очередь.

Финальный выбор осуществляется на основе согласования технической реализуемости образовательного маршрута с педагогической целесообразностью и личностными факторами.

Далее остановимся более подробно на некоторых шагах, связанных со слабоформализуемым этапом выявления межкомпетентностных связей учебных тем и дисциплин.

3. Формирование матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК

3.1. Процедура экспертной оценки взаимосвязи содержательной части учебных тем для оптимизации ИОМ

Для формирования матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК используется комплементарный подход: нейросетевая генерация совместно с экспертной проверкой для контроля качества. Традиционное экспертное оценивание ограничено субъективностью, высокой когнитивной нагрузкой, длительностью временных затрат. Нейросеть позволяет уменьшить трудоемкость процесса анализа содержания учебных тем, обеспечивает воспроизводимость значения оценок, позволяет масштабировать количество направлений изучения и генерирует шкалу с высокой дифференцирующей способностью. Благодаря этому эксперты освобождаются от затратного по времени рутинного оценивания и сосредотачиваются на проверке и коррекции итоговой матрицы. Алгоритм процедуры экспертной оценки представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процедура экспертной оценки взаимосвязи содержательной части учебных тем для оптимизации ИОМ

3.2. Использование нейросети для формирования матрицы коэффициентов зависимости дисциплин

При исследовании эффективности использования искусственного интеллекта для построения матрицы коэффициентов были рассмотрены три нейросети: Deepseek (Китай), ChatGPT (США), GigaChat (Россия).

На основе сформулированной постановки задачи, исходных параметров примера и требований к выходным данным составлен первичный текст, который доработан нейросетью с целью формирования шаблона корректного и оптимизированного промпта. Далее приведены результаты работы с нейросетями.

3.2.1. Языковая модель DeepSeek. В результате выполнения запроса нейросеть вернула следующий результат: описательный анализ с логикой построения матрицы, построила матрицу коэффициентов, дала пояснения ключевым связям и обозначила выводы.

После анализа данных, сгенерированных нейросетью, авторами данной статьи был сделан вывод о корректности полученных результатов: модель верно распознала исходный запрос и предоставила семантически адекватный результат. Для проверки адекватности числовых показателей был проведен цикл повторных запросов к модели с инструкцией: «Проверь матрицу на корректность и вноси корректировки при необходимости». Модель выполнила несколько последовательных самопроверок и сформировала финальную версию матрицы зависимостей. Модель подтвердила корректность итоговой матрицы: квадратная, диагональ нулевая, значения в диапазоне от 0 до 1; все связи логически объяснимы; учтена разница в сложности компетенций.

3.2.2. Нейросеть GigaChat. Условия её работы (входные данные примеров и промпт) такие же, как для DeepSeek. Нейросеть предлагает структурированный алгоритм действий: определение структуры компетенций и их взаимозависимости, формирование гипотезы о коэффициентах влияния, заполнение матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК. Полученные результаты, аналогично предыдущему эксперименту, были подвергнуты процедуре самопроверки на корректность. Для данной модели характерна более низкая сходимость процесса: количество итераций, необходимых для фиксации стабильного состояния матрицы (отсутствие корректировок), оказалось выше в среднем на 15–20 %. Кроме того, в ряде итерационных циклов наблюдается отрицательное влияние правок: вносимые нейросетью корректировки снижали общую логическую согласованность данных.

3.2.3. Нейросеть ChatGPT (версия GPT-5). После обработки входной инструкции нейросеть сгенерировала ответ: отметила компетенции с высокой взаимозависимостью, описала общий принцип

определения коэффициентов и составила матрицу коэффициентов взаимосвязи ИДК, за которой следовало её текстовое описание и интерпретация. После получения первоначальной версии матрицы от ChatGPT была выполнена стандартная процедура самопроверки. В процессе нескольких циклов уточнений сессия взаимодействия с нейросетью завершилась сбоем: вместо ожидаемого контента возвращалась ошибка сети «Error! Http_code=0». Последующие запросы также оказались неуспешными. Одно из возможных объяснений данной технической нестабильности – ограничения доступности сервиса в регионе проведения эксперимента.

Позднее была проведена повторная экспериментальная сессия. Условия эксперимента оставались неизменными. Сгенерированный результат, как и в предыдущих случаях, был подвергнут процедуре проверки на необходимость уточнений. Для достижения финального результата потребовалось большее количество итерационных циклов по сравнению с экспериментами на DeepSeek и GigaChat. В ходе выполнения запросов наблюдалась неполная обработка части из них: система возвращала ошибку, указывающую на сбой на уровне сетевого взаимодействия или доступности API.

В рамках сравнительного анализа были системно оценены рассмотренные нейросети. DeepSeek проявила себя как наиболее стабильный и эффективный инструмент, продемонстрировав высокую сходимость итерационного процесса самопроверки, способность осуществлять самооценку генерируемого контента и генерацию методически обоснованных рекомендаций. GigaChat показала сопоставимую способность к решению задачи, однако для неё была характерна более низкая сходимость процесса, а вносимые в ходе итераций корректировки в ряде случаев приводили к снижению логической согласованности данных. Работа с моделью ChatGPT была сопряжена со значительными техническими сложностями, включая частые сетевые сбои и существенно большее количество необходимых итераций для получения результата.

Отметим, что полностью автоматизированный результат, даже полученный от наиболее эффективной нейросети, не может считаться окончательным. Для использования в практических целях необходим этап содержательной экспертной оценки, что формирует перспективную модель «нейросеть → эксперт → практика». Повышение качества использования нейросетевых технологий возможно с предварительной процедурой обучения и настройки модели.

3.3. Проведение экспертной оценки

Матрица коэффициентов взаимосвязи ИДК, составленная нейросетью, передается на проверку экспертной группе. Для проведения оценки применяется метод независимого экспертного опроса с последующим усреднением результатов с использованием критерия допустимого разброса мнений.

На первом этапе осуществляется независимое оценивание, в рамках которого каждый из k экспертов присваивает объекту экспертизы числовую оценку E_i в диапазоне от 0 до 1, где i – очередной ИДК.

На втором этапе проходит проверка степени согласованности экспертных суждений. Для этого вычисляется размах оценок $R = \max(E_i) - \min(E_i)$.

В случае, если значение $R \leq 1$, фиксируется приемлемый уровень консенсуса, и процедура переходит к этапу агрегирования. При $R > 1$ оценки признаются несогласованными, что инициирует процедуру коллективного обсуждения с последующим повторным независимым оцениванием до тех пор, пока не будет достигнут консенсус.

Заключительный этап, агрегирование, предполагает расчёт средней арифметической величины

$$F = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k E_i, \text{ которая принимается в качестве результирующей коэффициентом.}$$

4. Пример формирования ИОМ с минимизацией времени обучения

Для демонстрации процесса формирования ИОМ с минимизацией времени обучения предлагается рассмотреть следующий пример 1, в котором явно прослеживаются межкомпетентностные связи.

Предположим, что обучение нацелено на получение следующих компетенций с указанием времени изучения по плану:

1. Умение работать в программе организации видеоконференций Zoom – 6 часов.

2. Умение работать в программе организации видеоконференций Discord – 8 часов.
3. Умение работать в программе организации видеоконференций Skype – 6 часов.
4. Умение работать в приложении G.Формы – 4 часа.
5. Умение работать в приложении G.Таблицы – 36 часов.
6. Умение работать в табличном процессоре Excel – 54 часа.

Для целей данного исследования компетенции кодируются названиями соответствующих учебных тем (рисунок 3).

	Zoom	Discord	Skype	G.Формы	G.Таблицы	Excel
Zoom	0	8	6	4	36	54
Discord	6	0	6	4	36	54
Skype	6	8	0	4	36	54
G.Формы	6	8	6	0	36	54
G.Таблицы	6	8	6	4	0	54
Excel	6	8	6	4	36	0

Рисунок 3 – Базовая матрица, отражающая нормативное количество академических часов для освоения ИДК, пример 1

Совокупность межкомпетентностных зависимостей, выявленных в ходе экспертной оценки, представлена в виде квадратной матрицы коэффициентов (рисунок 4).

	Zoom	Discord	Skype	G.Формы	G.Таблицы	Excel
Zoom	1	0,5	0,5	1	1	1
Discord	0,5	1	0,5	1	1	1
Skype	0,5	0,5	1	1	1	1
G.Формы	1	1	1	1	0,8	1
G.Таблицы	1	1	1	0,2	1	0,8
Excel	1	1	1	1	0,2	1

Рисунок 4 – Матрица коэффициентов взаимосвязи ИДК (взаимосвязи учебных тем), пример 1

Поскольку влияние между компетенциями в паре может быть асимметричным, матрица коэффициентов их взаимосвязей является несимметричной. В качестве примера можно рассмотреть связь между навыками работы в табличных процессорах: владение Excel существенно снижает трудоемкость освоения G.Таблиц, что выражается коэффициентом 0,2. Обратное влияние (G.Таблицы → Excel) выражено слабее, что обусловлено более узким функционалом первого приложения относительно второго, и коэффициент в данном направлении составляет 0,8.

Далее представлены результаты решения задачи формирования ИОМ с минимизацией времени обучения.

Продолжительность обучения по учебному плану: 114 часов.

Продолжительность обучения с использованием ИОМ с минимизацией времени обучения: 96 часов.

Вариации последовательностей изучения учебных дисциплин:

Вариант 1. G.Формы – Zoom – Skype – Discord – G.Таблицы – Excel.

Вариант 2. G.Формы – Skype – Discord – Zoom – G.Таблицы – Excel.

Вариант 3. G.Формы – Zoom – Skype – Discord – G.Таблицы – Excel.

Полученный ИОМ минимизирует общее время на освоение всей программы, соблюдая логические зависимости.

5. Вычислительный эксперимент

Для формирования индивидуальных образовательных маршрутов применяется разработанный авторами прикладной программный модуль (ППМ) [11] для решения задач маршрутизации на основе генетического алгоритма.

Интерфейс модуля реализован в виде главного окна, содержащего меню, которое обеспечивает возможность загрузки ранее сформированной матрицы ИДК либо её генерацию посредством встроенного подмодуля, а также настройку параметров оптимизации алгоритма. Настройки включают в себя три режима: «стандартная сложность», «высокая сложность» и «ручной». Первые два предполагают автоматизированную оптимизацию на основе встроенных алгоритмических схем, тогда как третий режим предоставляет пользователю возможность индивидуальной тонкой настройки параметров оптимизации, в том числе параметров генетического алгоритма (рисунок 5).

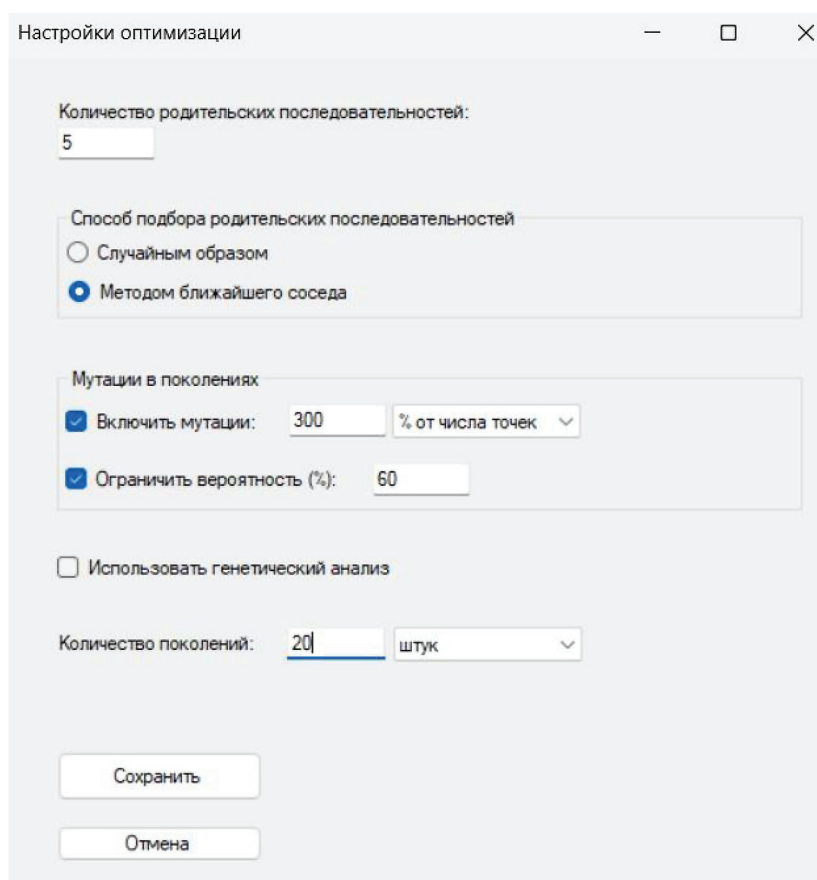


Рисунок 5 – Интерфейс прикладного программного модуля

В разработанном ППМ реализован функционал редактирования списка загруженных учебных тем и разделов, матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК. Предусмотрена возможность добавления новых разделов и тем в существующую матрицу, а также удаления разделов, утративших актуальность. Структурно разделы включают совокупность тем, для каждой из которых задаются два параметра: нормативная трудоёмкость освоения (в академических часах) и коэффициент зависимости от других тем.

Результатом функционирования ППМ выступает множество вариативных ИОМ с минимизацией времени обучения.

Рассмотрим процесс формирования ИОМ на примере 2 для формирования компетенций по образовательному модулю «Цифровая грамотность». С целью формирования базовой матрицы времени освоения компетенций осуществлён мониторинг существующих образовательных курсов и программ, проведён анализ необходимых компетенций и выделены ключевые тематические блоки, подлежащие

включению в содержание обучения: кибербезопасность, электронные таблицы, облачные хранилища, операционная система и файловая структура, текстовый редактор, интернет и электронная почта, устройство персонального компьютера, создание презентаций, графические редакторы, мессенджеры и средства видеосвязи, работа с порталом государственных услуг, конструкторы сайтов, цифровые финансовые сервисы, а также основы использования технологий искусственного интеллекта.

После формирования тематической структуры возникает задача определения трудоёмкости освоения каждого из выделенных разделов, выраженной в академических часах. Для решения данной задачи проведён анализ содержания 33 учебных программ и курсов (на таких платформах, как Stepik, Яндекс.Практикум, Фоксфорд, Skillbox и других), на основе которого установлена средняя продолжительность изучения каждой темы (таблица 1).

Таблица 1 – Продолжительность изучения тем по образовательному модулю «Цифровая грамотность», пример 2

Тема	Максимальное количество часов
Кибербезопасность	72
Электронные таблицы	60
Облачные хранилища и управление файлами	4
Операционная система и файловая система	32
Текстовый редактор	32
Интернет и электронная почта	32
Устройство ПК	4
Презентации	32
Графические редакторы	2
Мессенджеры и видеосвязь	2
Государственные услуги	16
Конструкторы сайтов	120
Цифровые финансы	68
Использование ИИ	84

На первом этапе построения модели сформирован исходный вариант матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК. С этой целью применена нейросеть DeepSeek. Полученная матрица была подвергнута процедуре экспертной оценки и корректировки. В качестве экспертов привлечены специалисты в области цифровых компетенций и педагогического проектирования: зав. кафедрой информационных технологий (канд. техн. наук); профессор, д-р техн. наук; четыре доцента (канд. техн. наук, канд. пед. наук); методист. Эксперты провели оценку адекватности назначенных коэффициентов, внесли корректировку значений матрицы коэффициентов.

Итоговая структура матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК по модулю «Цифровая грамотность» представлена на рисунке 6. Элементы, подвергшиеся изменению в ходе экспертной оценки, выделены красным цветом.

Полученные результаты экспертной оценки приводятся к формату, пригодному для загрузки в ППМ [11].

В ППМ производится выбор параметров оптимизационного блока. В таблице 2 представлены: используемые значения настроек, длина маршрута, заданная учебным планом, средняя длина маршрута, сформированного алгоритмом ближайшего соседа, средняя длина маршрута, полученного с помощью оптимизационного блока, а также рассчитанные показатели эффективности.

Длина маршрута, построенного алгоритмом ближайшего соседа, зависит от выбора стартовой дисциплины. В свою очередь, длина маршрута, сформированного оптимизационным блоком, определяется результирующим порядком следования дисциплин. Для каждого сочетания параметров примера и настроек было сгенерировано 25 индивидуальных маршрутов.

Оценка эффективности предложенного гибридного подхода проводилась на основе двух показателей:

1. Улучшение длины маршрута, построенного оптимизационным блоком ППМ, относительно базового маршрута, заданного учебным планом:

$$\Delta_{УП} = \frac{L_{УП} - \overline{L_{ОБ}}}{L_{УП}} \times 100\%,$$

где $L_{УП}$ – длина маршрута по учебному плану;

$\overline{L_{ОБ}}$ – средняя длина маршрута, полученная с помощью оптимизационного блока ППМ.

2. Улучшение длины маршрута, построенного оптимизационным блоком ППМ, относительно траектории, сгенерированной алгоритмом ближайшего соседа:

$$\Delta_{АВС} = \frac{L_{АВС} - \overline{L_{ОБ}}}{L_{АВС}} \times 100,$$

где $L_{АВС}$ – средняя длина траектории, построенной алгоритмом ближайшего соседа.

Компетенция	Кибер-безопасность	Электронные таблицы	Облачные хранилища	ОС и файловая система	Текстовый редактор	Интернет и почта	Устройство ПК	Презентации	Графические редакторы	Мессенджеры и видеосвязь	Госуслуги	Конструкторы сайтов	Цифровые финансы	Использование ИИ
Кибербезопасность	1	0,9	0,7	0,8	1	0,6	0,9	1	1	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8
Электронные таблицы	0,9	1	0,9	0,9	0,8	0,9	1	0,8	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9
Облачные хранилища	1	0,9	1	1	0,9	0,8	1	0,9	0,9	1	1	0,9	0,9	0,9
ОС и файловая система	0,8	0,9	0,7	1	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1
Текстовый редактор	1	1	0,9	0,8	1	1	1	0,6	0,8	1	1	1	1	1
Интернет и почта	0,6	1	0,6	0,8	1	1	1	1	1	0,5	0,8	0,8	0,9	0,9
Устройство ПК	0,8	1	1	0,7	1	0,9	1	1	0,9	1	1	1	1	1
Презентации	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1	1	0,7	1	1	1	0,8	1
Графические редакторы	0,9	1	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,9	1	1	1	0,8	1	0,8
Мессенджеры и видеосвязь	0,8	1	0,9	1	1	0,8	1	1	1	1	0,8	1	1	1
Госуслуги	0,8	1	1	1	1	0,7	1	1	1	0,8	1	1	1	1
Конструкторы сайтов	0,8	1	0,6	1	0,8	0,7	1	0,7	0,7	1	1	1	1	0,8
Цифровые финансы	0,5	0,8	0,9	1	0,9	0,7	1	0,9	1	0,9	0,8	1	1	0,8
Использование ИИ	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8	1	0,6	0,5	1

Рисунок 6 – Матрица коэффициентов для тем образовательного модуля «Цифровая грамотность», пример 2

Таблица 2 – Результаты вычислительного эксперимента

% мутаций от числа точек	Огранич. вероят. мутаций, %	Кол-во поколений	Длина маршрута по УП	Средняя длина АВС	Средняя длина ОБ	Улучш. ИОМ ОБ/УП, %	Улучш. ИОМ ОБ/АВС, %
300	60	20	560	431	395,5	29 %	8 %
30	30	10	560	428,5	414,6	26 %	3 %
10	10	10	560	427,9	414,2	23 %	3 %

Анализ данных, представленных в таблице 2, позволяет сделать вывод и оценить влияние параметров оптимизационного блока на эффективность формирования ИОМ с минимизацией времени обучения.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают возможность применения предложенного гибридного подхода к решению задачи формирования индивидуального образовательного маршрута и позволяют сократить время фактического обучения и достижения необходимых компетенций по сравнению с традиционным подходом изучения материалов образовательного курса. Наибольшая эффективность достигается при использовании расширенного пространства поиска, обеспечиваемого высокой интенсивностью мутаций и увеличенным числом поколений генетических процедур. В этом случае формируемые маршруты оказываются не только существенно короче линейного плана, но и превосходят по качеству индивидуальные решения, полученные жадным алгоритмом ближайшего соседа.

Заключение

В ходе выполненного исследования проведен системный анализ процесса формирования компетенций. Образовательный процесс рассмотрен как сложная иерархическая система, эффективность которой определяется не только составом элементов, но и структурой взаимосвязей между ними.

Применение системного подхода позволило сформулировать оптимизационную задачу формирования индивидуального образовательного маршрута с минимизацией времени обучения, математическая модель которой является модификацией задачи незамкнутой маршрутизации (TSP – Traveling

Salesman Problem) и позволяет учитывать влияние последовательности изучения учебных тем. Задача формализована с представлением информации на графе, где вершинами выступают индикаторы достижения компетенций, а веса дуг отражают асимметричное влияние последовательности изучения учебных тем на временные затраты достижения компетенций. Такой взгляд на образовательный процесс как на адаптивную систему дал возможность перейти от статической модели обучения к динамической, способной учитывать индивидуальные параметры обучающегося.

Разработан гибридный подход, интегрирующий методы экспертной оценки и нейросетевые технологии для выявления межкомпетентностных связей. Использование нейросетей на этапе составления матрицы ИДК позволяет сократить трудоемкость этапа формирования матрицы коэффициентов взаимосвязи ИДК. Однако автоматизированный результат не может считаться окончательным. Для использования в практических целях необходима процедура содержательной экспертной оценки, что сформировало модель «нейросеть → эксперт → практика».

Разработанный прикладной программный модуль на основе генетического алгоритма представляет собой инструмент решения задачи формирования ИОМ с минимизацией времени обучения. Вычислительный эксперимент, результаты расчета на примере образовательного модуля «Цифровая грамотность» подтвердили эффективность предложенного гибридного подхода. В результате сформирован ИОМ с сокращением расчетного времени обучения на 23–29 % по сравнению с последовательностью изучения тем по учебному плану. Расширенная область допустимых эффективных последовательностей изучения тем позволяет принять решения о выборе индивидуального образовательного маршрута с учётом многообразия возможных состояний и практической целесообразности.

Таким образом, проведенное исследование создаёт теоретическую и практическую основу для создания адаптивных систем управления образовательным процессом, способных формировать персонализированные индивидуальные образовательные маршруты, учитывающие минимизацию временных затрат на обучение при сохранении полноты освоения требуемых компетенций.

Следует отметить, что использование гибридного подхода и разработанного программного модуля для построения индивидуального образовательного маршрута недостаточно для формирования большого количества ИОМ в условиях существующих образовательных процессов из-за большого объема анализируемой информации и трудоемкости процесса. Для масштабируемости и практического внедрения предложенного гибридного подхода целесообразно реализовать автоматизированную информационную систему для поддержки принятия решений с оптимизационным блоком формирования индивидуального образовательного маршрута с минимизацией времени обучения.

Список литературы

1. Колзина А.Г., Шихова О.Ф., Шихов Ю.А. Бережливая технология подготовки преподавателей внутрифирменного обучения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2024. – № 4 (49). – С. 32–39. – DOI 10.21777/2500-2112-2024-4-32-39.
2. Филиппова А.С., Старцева О.Г., Михайлова А.Н. Сценарии использования цифровых технологий в образовании // Образовательные ресурсы и технологии. – 2024. – № 2 (47). – С. 7–15. – DOI 10.21777/2500-2112-2024-2-7-15.
3. Грищенко В.А. Влияние цифровой трансформации на изменение образовательной системы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2023. – № 2 (43). – С. 7–12.
4. Добровольская Н.Ю., Сеидова Н.М. Применение генеративных моделей в обучении математическому анализу студентов IT-направлений // Образовательные ресурсы и технологии. – 2025. – № 3 (52). – С. 42–51. – DOI 10.21777/2500-2112-2025-3-42-51.
5. Васильева Л.И., Филиппова А.С., Дямина Э.И. Анализ результативности проведения хакатонов и идеатонов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2024. – № 3 (48). – С. 7–17.
6. Zaporozhko V.V., Bolodurina I.P., Parfenov D.I. A Genetic-algorithm approach for forming individual educational trajectories for listeners of online courses // Integrating Research Agendas and Devising Joint Challenges: International Multidisciplinary Symposium ICT Research in Russian Federation and Europe, Stavropol – Dombay, 15–20 октября 2018 года. – Stavropol – Dombay: North-Caucasian Federal University, 2018. – P. 229–236.

7. Филиппова А.С., Васильева Л.И., Саранова Е.С. Методика формирования оптимального маршрута достижения цифровой компетентности современного учителя // Педагогический журнал Башкортостана. – 2022. – № 2 (96). – С. 111–125. – DOI 10.21510/18173292_2022_96_2_111_125.
8. Михайлова А.Н., Филиппова А.С. Исследование взаимосвязи содержательной части дисциплин для оптимизации индивидуальных образовательных маршрутов // Цифровая трансформация социальных и экономических систем: материалы V Международной научно-практической конференции – DIGITAL2026, Москва, 30 января 2026 года. – Москва: изд. ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2026. – С. 348–358.
9. Филиппова А.С., Саранова Е.С., Васильева Л.И., Маннанова Г.И. Анализ и моделирование процесса обучения цифровым компетенциям // Педагогический журнал Башкортостана. – 2021. – № 2 (92). – С. 154–172. – DOI 10.21510/1817-3292-2021-92-2-154-172.
10. Савкин В.Ю., Светличная В.А., Рыдзывело К.Г. Анализ методов решения задачи коммивояжера // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2018): материалы IX Международной научно-технической конференции в рамках IV Международного научного форума Донецкой Народной Республики, Донецк, 22–24 мая 2018 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2018. – С. 6–10.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683420 Российская Федерация. Программа для построения модели и маршрута достижения индикаторов компетенций: № 2024682801: заявл. 03.10.2024: опубл. 14.10.2024 / А.С. Филиппова, И.Ф. Зайнетдинов, А.Н. Михайлова, Е.С. Саранова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы».

References

1. Kolzina A.G., Shihova O.F., Shihov Yu.A. Berezhlivaya tekhnologiya podgotovki prepodavatelej vnutfirmennogo obucheniya // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2024. – № 4 (49). – S. 32–39. – DOI 10.21777/2500-2112-2024-4-32-39.
2. Filippova A.S., Starceva O.G., Mihajlova A.N. Scenarii ispol'zovaniya cifrovyyh tekhnologij v obrazovanii // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2024. – № 2 (47). – S. 7–15. – DOI 10.21777/2500-2112-2024-2-7-15.
3. Grishchenko V.A. Vliyanie cifrovoj transformacii na izmenenie obrazovatel'noj sistemy // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2023. – № 2 (43). – S. 7–12.
4. Dobrovolskaya N.Yu., Seidova N.M. Primenenie generativnyh modelej v obuchenii matematicheskomu analizu studentov IT-napravlenij // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2025. – № 3 (52). – S. 42–51. – DOI 10.21777/2500-2112-2025-3-42-51.
5. Vasil'eva L.I., Filippova A.S., Dyaminova E.I. Analiz rezul'tativnosti provedeniya hakatonov i ideatonov // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2024. – № 3 (48). – S. 7–17.
6. Zaporozhko V.V., Bolodurina I.P., Parfenov D.I. A Genetic-algorithm approach for forming individual educational trajectories for listeners of online courses // Integrating Research Agendas and Devising Joint Challenges: International Multidisciplinary Symposium ICT Research in Russian Federation and Europe, Stavropol – Dombay, 15–20 oktyabrya 2018 goda. – Stavropol – Dombay: North-Caucasian Federal University, 2018. – P. 229–236.
7. Filippova A.S., Vasil'eva L.I., Saranova E.S. Metodika formirovaniya optimal'nogo marshruta dostizheniya cifrovoj kompetentnosti sovremennogo uchitelya // Pedagogicheskij zhurnal Bashkortostana. – 2022. – № 2 (96). – S. 111–125. – DOI 10.21510/18173292_2022_96_2_111_125.
8. Mihajlova A.N., Filippova A.S. Issledovanie vzaimosvyazi soderzhatel'noj chasti disciplin dlya optimizacii individual'nyh obrazovatel'nyh marshrutov // Cifrovaya transformaciya social'nyh i ekonomicheskikh sistem: materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii – DIGITAL2026, Moskva, 30 yanvarya 2026 goda. – Moskva: izd. CHOUVO «MU im. S.Yu. Vitte», 2026. – S. 348–358.
9. Filippova A.S., Saranova E.S., Vasil'eva L.I., Mannanova G.I. Analiz i modelirovanie processa obucheniya cifrovym kompetenciyam // Pedagogicheskij zhurnal Bashkortostana. – 2021. – № 2 (92). – S. 154–172. – DOI 10.21510/1817-3292-2021-92-2-154-172.

10. Savkin V.Yu., Svetlichnaya V.A., Rydzyvylo K.G. Analiz metodov resheniya zadachi kommivoyazhyora // Informatika, upravlyayushchie sistemy, matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie (IUSMKM-2018): materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii v ramkah IV Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma Doneckoj Narodnoj Respubliki, Doneck, 22–24 maya 2018 goda. – Doneck: Doneckij nacional'nyj tekhnicheskij universitet, 2018. – S. 6–10.

11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2024683420 Rossijskaya Federaciya. Programma dlya postroeniya modeli i marshruta dostizheniya indikatorov kompetencij: № 2024682801: zayavl. 03.10.2024: opubl. 14.10.2024 / A.S. Filippova, I.F. Zajnetdinov, A.N. Mihajlova, E.S. Saranova; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Bashkirskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. M. Akmully».

Статья поступила в редакцию: 08.03.2026

Received: 08.03.2026

Статья принята к публикации: 25.03.2026

Accepted: 25.03.2026