

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ
ОЦЕНОК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 271 группы
направления 09.04.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Филиппова Родиона Константиновича

Научный руководитель
доцент, к. э. н.

Г. Ю. Чернышова

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует значительное количество многокритериальных методов принятия решений и их различных модификаций, также существует ряд различных библиотек. Нечетко-логические модели расширяют список многокритериальных методов в условиях неполноты, неопределенности и неточности исходных данных. Формирование управленческих решений предполагает использование специализированных экономико-математических методов и инструментальных средств. Разработка программного обеспечения, которое будет адаптировано для оценки регионального социально-экономического развития, является актуальной задачей.

Целью магистерской работы является разработка web-приложения, которое реализует многокритериальные методы принятия решений с применением нечетко-логической модели.

В рамках магистерской работы должны быть решены следующие задачи:

- классификация многокритериальных методов принятия решений;
- выбор инструментальных средств для разработки системы поддержки принятия решений на основе многокритериальных оценок сложных социально-экономических систем;
- проектирование и разработка web-приложения, реализующего многокритериальные методы принятия решений с использованием нечеткой модели;
- применение разработанного web-приложения для комплексной оценки социально-экономических показателей регионов Российской Федерации.

Объектом исследования являются многокритериальные методы принятия решений.

В качестве предмета исследования рассматриваются инструментальные средства для реализации алгоритмов принятия решений в условиях многокритериальности.

Теоретическая значимость магистерской работы заключается в классификации различных многокритериальных методов принятия решений. Практическая значимость бакалаврской работы заключается в разработке web-приложения для реализации многокритериальных методов принятия решений с использованием нечетко-логических моделей.

Магистерская работа имеет следующую структуру. В первом разделе рас-

сматриваются различные методы принятия решений, проводится их классификация, и приводятся алгоритмы методов fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE II. Второй раздел посвящен проектированию и разработке web-приложения, в частности, выбору архитектурных шаблонов и инструментальных средств для разработки, описание процесса разработки web-приложения, выбор хостинга, применение и анализ результатов работы приложения при помощи коэффициента конкордации. Бакалаврская работа состоит из введения, 2 разделов, заключения, списка использованных источников и 2 приложений. Общий объем работы – 59 страниц, из них 55 страницы – основное содержание, включая 35 рисунков, 5 таблиц и 36 формул, список использованных источников информации – 31 наименование.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе “Анализ многокритериальных методов принятия решений” представлена классификация многокритериальных методов принятия решений.

Многокритериальные методы принятия решений (ММПР) являются методами, цель которых заключается в ранжировании различных вариантов решений. В конечном итоге необходимо определить и расставить по предпочтениям доступные варианты решений. Анализ в некоторых алгоритмах включает в себя разработку матрицы сравнений вариантов решений и критериев, варианты решений следует ранжировать с учетом значимости критериев. Альтернативами называют варианты принимаемых решений. Критерии – это способ описания вариантов решений, способ выражения различий между ними с точки зрения предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР).

В настоящее время существует множество различных многокритериальных методов принятия решений и их модификаций. Наиболее распространенных ММПР и их различные модификации представлены на **рисунке 1**.

Analytic Hierarchy Process (АНР) является структурированной техникой для организации и анализа сложных решений или вопросов, которые включают в себя субъективные суждения. Другими словами, АНР – это традиционная техника для определения приоритетов на основании различных критериев, сравнивающая альтернативы по каждому критерию и определяющая общий рейтинг. Основным преимуществом АНР является обработка нескольких критериев, возможность использования как качественных, так и с количественных данных.

Analytic Network Process (ANP) представляет собой обобщенную форму АНР [1]. В АНР требуется иерархическая структура факторов. АНР не дает возможности исследовать взаимозависимые отношения в группе факторов. ANP позволяет исследовать взаимосвязи между элементами, выходя за пределы строго иерархических связей. В ANP имеется возможность установления обратных связей в системе факторов [2].

ELimination Et Choix Traduisant la REalit’e (ELimination and Choice Expressing the REality) (ELECTRE) не основан на классической теории полезности, в нем выполняется относительная оценка альтернатив. Метод должен предъявлять ЛПР различные варианты решения проблемы в зависимости от тех или иных решающих правил. Эти правила формируются в виде индексов парного сравнения

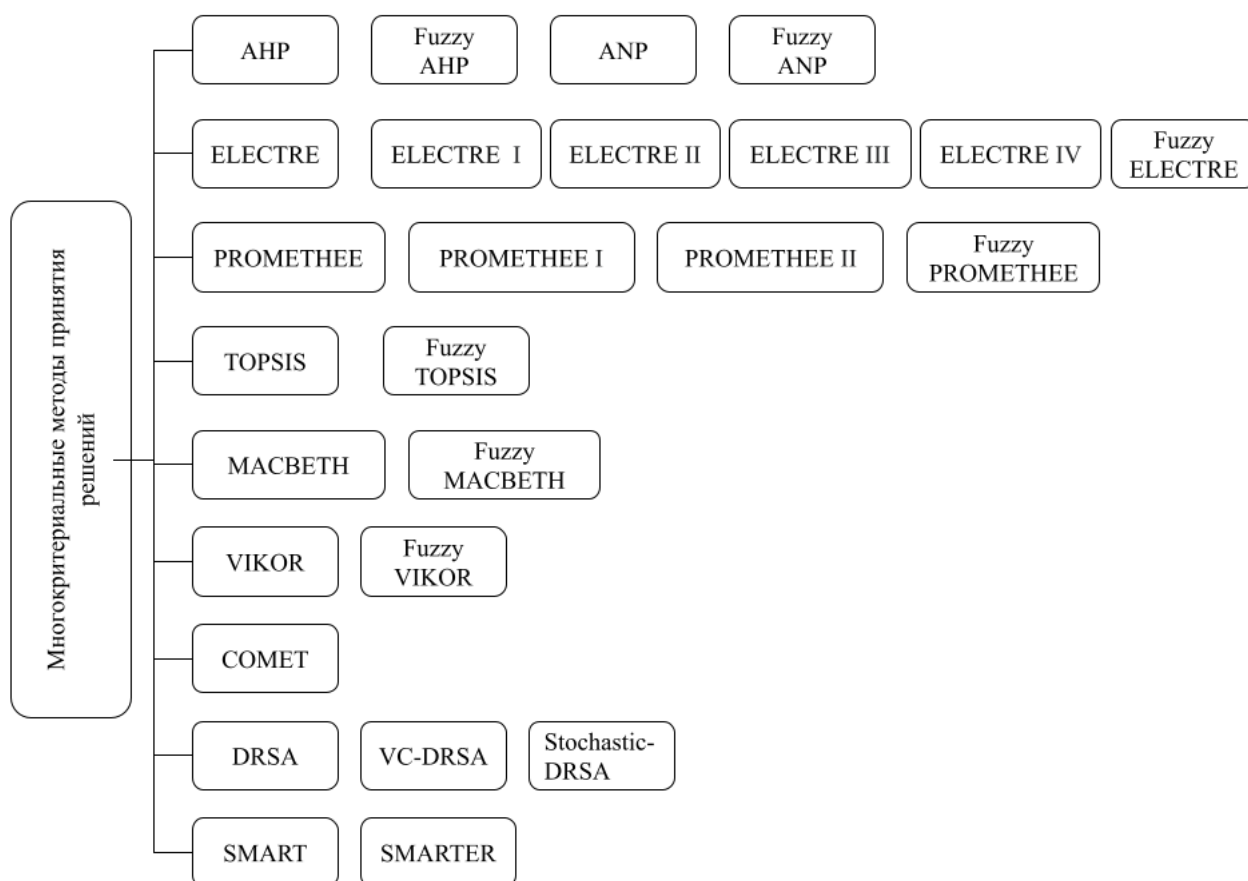


Рисунок 1 – Классификация ММПР.

альтернатив.

Различия также касаются проблематики отбора. Предпочтения в методе ELECTRE I моделируются с помощью бинарных отношений. В основе алгоритма лежат индексы согласованности и несогласованности.

Метод ELECTRE II также направлен на решении задачи ранжирования. Однако в ELECTRE II можно различать сильное и слабое отношение предпочтений.

ELECTRE III основан на псевдокритериях (определяются пороги безразличия, предпочтения и вето), а не на истинных критериях. После определения предпочтений лица принимающего решение, вычисляются индексы соответствия и несоответствия, и окончательное ранжирование вариантов определяется на основе результатов процедур отбора.

В ELECTRE IV также используются специальные псевдокритерии, однако, веса критериев не определяются.

Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations

(PROMETHEE) – семейство методов из более чем десятка методов. Наиболее известными методами семейства PROMETHEE являются PROMETHEE I и PROMETHEE II. Эти методы часто и успешно используются на практике.

Основная идея метода Technique for Order Preference by Similarity to ideal Solution (TOPSIS) состоит в том, чтобы оценить удаленность показателей от изначально определенных идеальной и антиидеальной точек по отдельности, а затем преобразовать эти два показателя в одну общую оценку. TOPSIS обладает таким преимуществом, как возможность оценки худших и лучших исходов с необходимыми вычислениями и дополнениями.

Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique (MACBETH) также позволяет оценивать альтернативы по нескольким критериям. Ключевое различие между MACBETH и другими методами принятия решений заключается в том, что ему нужны только качественные суждения о разнице привлекательности между двумя альтернативами, чтобы осуществить числовую оценку альтернатив по каждому критерию и взвешивание критериев. В MACBETH используются такие лингвистические категории как: отсутствие разницы, слабая, умеренная, сильная, очень сильная и крайняя разница в привлекательности альтернатив.

Метод Vlse Kriterijumska Optimizacija kompromisno Resenje (VIKOR) первоначально был разработан для решения проблем принятия решений с конфликтующими и несоизмеримыми критериями, предполагая, что компромисс приемлем для разрешения конфликта. VIKOR ранжирует альтернативы и определяет наиболее близкое к идеальному решению, называемому компромиссом [3].

В Characteristic Objects METHod (COMET) для каждого критерия используются треугольные нечеткие числа, которые определяют степень принадлежности вариантов к отдельным лингвистическим значениям, описывающим отдельные критерии. Далее на основе значений вершин отдельных нечетких чисел формируются оценки альтернатив. Лицо, принимающее решение, попарно сравнивает эти оценки и формирует рейтинг альтернатив [4].

The Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), является расширением теории приближенных множеств для многокритериального анализа принятия решений. Основным особенностью метода является замена отношения неразличимости отношением доминирования, что позволяет иметь дело с несогласо-

ванностями, типичными для рассмотрения критериев и классов решений, упорядоченных по предпочтениям.

Расширенная версия DRSA используется для большого количества альтернатив. Определения грубых приближений основаны на строгом применении принципа доминирования. Однако при определении однозначных объектов разумно принять ограниченную часть отрицательных примеров, особенно для больших таблиц решений. Такая расширенная версия DRSA называется моделью DRSA с переменной согласованностью (Variable-Consistency DRSA (VC-DRSA)) [5]. Другой модификацией DRSA является Stochastic DRSA, основанный на вероятностной модели [6].

Методика в Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART) основана на линейной аддитивной модели. Это означает, что общая значимость альтернативы рассчитывается как общая сумма баллов (значений) эффективности каждого критерия (атрибута) и умножается на вес этого критерия [7].

Оценка функций и весов в SMART иногда может быть сложной задачей. По этой причине разработана упрощенная форма SMART под названием SMARTER (SMART Exploiting Ranks). Используя метод SMARTER, ЛПП размещают критерии в порядке важности, затем SMARTER присваивает суррогатные веса в соответствии с методом рангового распределения или одним из аналогичных методов [8].

Во второй главе рассматривается разработка и применение web-приложения, реализующего многокритериальную теорию принятия решений с использованием нечеткой модели.

На данный момент существуют реализации инструментальных средств поддержки принятия решений, в виде отдельных библиотек и web-приложений, но они касаются только определенных методов, и в них отсутствует инструментарий для сравнения результатов, полученных различными методами.

Разрабатываемое web-приложение имеет функционал, который показан на **рисунке 2**.

С помощью следующих инструментальных средств будет разработано приложение для поддержки принятия решений на основе многокритериальных оценок сложных социально-экономических систем.

C# — объектно-ориентированный язык программирования. Разработан

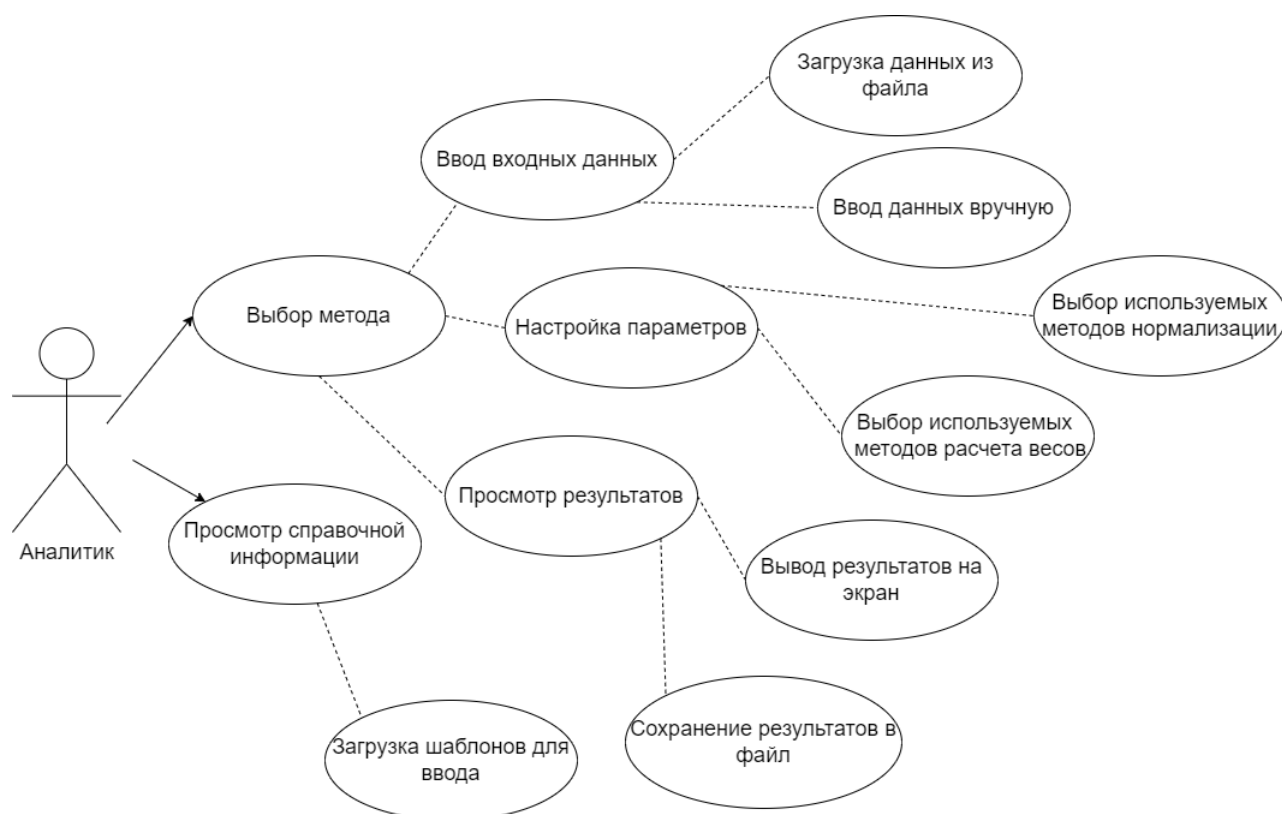


Рисунок 2 – Функционал web-приложения

как язык разработки приложений для платформы Microsoft .NET Framework. Впоследствии был стандартизирован как ECMA-334 и ISO/IEC 23270.

C# относится к семье языков с С-подобным синтаксисом, из них его синтаксис наиболее близок к C++ и Java. Язык имеет статическую типизацию, поддерживает полиморфизм, перегрузку операторов (в том числе операторов явного и неявного приведения типа), делегаты, атрибуты, события, свойства, обобщённые типы и методы, итераторы, анонимные функции с поддержкой замыканий, LINQ, исключения, комментарии в формате XML.

.NET Core — это модульная платформа для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом. Совместима с такими операционными системами как Windows, Linux и macOS. Была выпущена компанией Microsoft. У платформы есть собственное сообщество на GitHub. Поддерживает следующие языки программирования: C#, Visual Basic .NET (частично) и F#.

ASP.NET (Active Server Pages для .NET) — платформа разработки web-приложений, в состав которой входит: web-сервисы, программная инфраструктура, модель программирования, от компании Майкрософт. ASP.NET входит в состав платформы .NET Framework и является развитием более старой техно-

логии Microsoft ASP.

Инструменты CSS, HTML и JS имеют связь друг с другом. HTML отвечает за структуру web-страницы, CSS же за ее внешний вид, причем свойства CSS связываются с HTML элементами, а JS отвечает за различные эффекты и функциональность web-страницы.

Microsoft Visual Studio – линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств. Данные продукты позволяют разрабатывать как консольные приложения, так и приложения с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии Windows Forms, а также web-сайты, web-приложения, web-службы как в родном, так и в управляемом кодах для всех платформ, поддерживаемых Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone .NET Compact Framework и Silverlight.

Visual Studio включает в себя редактор исходного кода с поддержкой технологии IntelliSense и возможностью простейшего рефакторинга кода. Встроенный отладчик может работать как отладчик уровня исходного кода, так и отладчик машинного уровня. Остальные встраиваемые инструменты включают в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, web-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных. Visual Studio позволяет создавать и подключать сторонние дополнения (плагины) для расширения функциональности практически на каждом уровне, включая добавление поддержки систем контроля версий исходного кода (как, например, Subversion и Visual SourceSafe), добавление новых наборов инструментов (например, для редактирования и визуального проектирования кода на предметно-ориентированных языках программирования) или инструментов для прочих аспектов процесса разработки программного обеспечения (например, клиент Team Explorer для работы с Team Foundation Server).

MS SQL Server Developer Edition - это полнофункциональный выпуск, который содержит весь функционал, что и полная версия MS SQL Server Enterprise, но нацелена только для нужд разработки. В то же время эта версия не может быть использована для развертывания в качестве реального сервера на реальных проектах. MS SQL Server характеризуется такими особенностями как:

- производительность. SQL Server имеет высокую скорость работы;
- надежность и безопасность. SQL Server предоставляет шифрование дан-

ных;

- простота. С данной СУБД относительно легко вести администрирование. Функционально Blazor подразделяется на две подсистемы:
- Blazor Server позволяет создавать серверные приложения и поддерживается ASP.NET Core
- Blazor WebAssembly позволяет создавать одностраничные интерактивные приложения клиентской стороны, которые запускаются в браузере пользователя и работают с помощью технологии WebAssembly

При построении и запуске приложения Blazor WebAssembly файлы с кодом C# и Razor компилируются в сборки .NET. Затем Blazor WebAssembly (а если точнее скрипт `blazor.webassembly.js`) загружает среду выполнения .NET, сборки и их зависимости и настраивает среду выполнения .NET для выполнения сборок.

Посредством взаимодействия с JavaScript фреймворк Blazor WebAssembly может обращаться к DOM и API браузера.

Одним из преимуществ Blazor WebAssembly является то, что он может оптимизировать загружаемые сборки. В частности, при публикации приложения неиспользуемый код убирается линкером (компоновщиком) IL (Intermediate Language). Кроме того, все необходимые файлы среды выполнения .NET и загружаемых сборок кэшируются в браузере.

При этом Blazor WebAssembly не зависит от сервера. По большому счету нам может быть достаточно статического сервера, на котором размещены все файлы приложения. Все необходимые файлы загружаются браузером, и после загрузки файлов приложение работает полностью на стороне браузера и совершенно не зависит от сервера.

В то же время Blazor WebAssembly имеет ряд ограничений. Например, браузер должен поддерживать технологию WebAssembly – на данный момент последние версии распространенных браузеров (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Microsoft Edge, Yandex Browser) поддерживают эту технологию. Однако более старые версии, либо Internet Explorer не имеют подобной поддержки. Также браузеру необходимо загрузить файлы большого размера, так как приложение полностью отрабатывает на стороне клиента, что увеличивает нагрузку на сеть и время загрузки. Кроме того, в этом случае возможности приложения ограничены браузером, в котором запускается приложение.

В Blazor Server приложение отрабатывает на стороне сервера. Обнов-

ление элементов пользовательского интерфейса, обработка событий, вызовы JavaScript на клиентской стороне осуществляются посредством взаимодействия сервера и клиента через SignalR.

То есть когда пользователь взаимодействует с приложением в браузере, вызывает события пользовательского интерфейса (например, нажимает на кнопку), то клиентская сторона посылает на сервер информацию о событии, сервер обрабатывает полученную информацию и посылает клиенту в ответ инструкции, как необходимо обновить элементы интерфейса. В какой-то степени это похоже на подход, применявшийся в ASP.NET WebForms.

Поскольку большая часть логики приложения сосредоточена на стороне сервера, то все загружаемые клиентом файлы имеют гораздо меньший размер по сравнению с Blazor WebAssembly. Приложение не ограничено браузером и может воспользоваться возможностями серверной обработки. Кроме того, приложение может работать с устаревшими браузерами, которые не поддерживают WebAssembly. В то же время для работы приложения необходима постоянная поддержка сетевого подключения.

Для модуля BlazorApp предлагается использовать подход Blazor WebAssembly для снижения нагрузки на сервер.

Для разработки web-приложения будут использоваться следующие технологии: C#, ASP.NET Core 6.0, MS SQL Server Developer Edition 2019, Bootstrap, Microsoft Visual Studio 2022, CSS, HTML, JS, Blazor WebAssembly.

Для реализации web-приложения была выбрана трехслойная архитектура со слабым связыванием, позволяющая легко расширять функциональность решения.

Компоненты в трехслойной архитектуре, как правило, должны быть слабосвязанными (loose coupling), поэтому неотъемлемым звеном многоуровневых приложений является внедрение зависимостей. Слабое связывание снижает зависимость между различными компонентами системы за счет введения ряда промежуточных интерфейсов и агентов, тем самым повышая независимость этих компонентов и устойчивость к изменениям, что позволяет добавлять новые модули в приложение, не затрагивая уже имеющиеся, причем новые модули могут быть любого типа, то есть модулями уровня представления, уровня бизнес логики или же уровня предоставления доступа к данным.

Для реализации fuzzy ELECTRE II и fuzzy VIKOR потребовалось разра-

ботать следующие модули:

- WebApp.FELECTREII.BLL;
- WebApp.FELECTREII.BLL.Interfaces;
- WebApp.FVIKOR.BLL;
- WebApp.FVIKOR.BLL.Interfaces;
- WebApp.FELECTREII.Common;
- WebApp.FELECTREII.Entities;
- WebApp.FVIKOR.Common;
- WebApp.FVIKOR.Entities;
- WebApp.FELECTREII.DAL;
- WebApp.FELECTREII.DAL.Interfaces;
- WebApp.FVIKOR.DAL;
- WebApp.FVIKOR.DAL.Interfaces;
- реализовать интерфейс пользователя для каждого модуля в BlazorApp.

Данные модули являются проектами типа "Библиотека классов", за исключением модуля уровня представлений – BlazorApp. Этот модуль использует фреймворк – Blazor. Blazor представляет UI-фреймворк для создания интерактивных приложений, которые могут работать как на стороне сервера, так и на стороне клиента на платформе .NET.

Также для хранения результатов разработана база данных, в данном решении системой управления базами данных является MS SQL Server Developer Edition 2019.

С помощью разработанного web-приложения была выполнена сравнительная оценка регионов Российской Федерации, в следствии чего были получены результаты ранжирования регионов РФ по социально-экономическим показателям (численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (E_1), внутренние затраты на исследования и разработки (E_2), затраты на инновационную деятельность организаций (E_3), стоимость основных фондов (E_4), степень износа основных фондов (E_5) и удельный вес убыточных организаций (E_6), высокий уровень налогообложения (E_7), недобросовестная конкуренция (E_8), объем инновационных товаров (E_9)) при помощи метода fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE II. Полученные коэффициенты конкордации при многокритериальной оценке регионов Российской Федерации – $W_{E_1-E_5}$ и $W_{E_5-E_9}$ практически совпали, что говорит о наличии высокой степени согласованности результатов

работы двух методов fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE II. Рассчитываемый коэффициент конкордации обеспечит возможность оценки согласованности мнений экспертов при принятии решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многокритериальные методы принятия решений отличаются большим разнообразием. Широко применяют гибридные модели. Использование нечетко-логического подхода обеспечивает возможность использования лингвистических оценок при отсутствии точных количественных оценок. Задача применения многокритериальных методов, особенно их комплексное применение с помощью программной реализации, является актуальной задачей.

Разработанное приложение обеспечивает кроссплатформенность и расширяемость, в частности, добавление новых модулей, например, таких как новые многокритериальные методы. Этого удалось достичь благодаря модульной архитектуре. Данная архитектура – трехслойная со слабым связыванием, что позволяет добавлять новые модули в любой слой. Модули могут предназначаться для новых решений, либо уже для существующих.

Была произведена классификация многокритериальных методов принятия решений.

Было разработано web-приложение, которое реализует методы АНР, fuzzy АНР, fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE II, адаптированное для многокритериальной оценки социально-экономических показателей. В качестве платформы использовался .NET Core 6.0 и MS SQL Server 2019 при использовании фреймворка Blazor и с помощью подхода Web Assembly.

Данное web-приложение позволяет осуществлять выбор альтернатив с помощью методов АНР, fuzzy АНР, fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE II, выполнять ранжирование альтернатив этими методами. Приложение может быть использовано аналитиками в сфере регионального развития, повышает объективность решений за счет широкого спектра методов. Также с помощью разработанного web-приложения была выполнена многокритериальная оценка регионов Российской Федерации по набору социально-экономических показателей. Результаты многокритериальной оценки методами fuzzy VIKOR и fuzzy ELECTRE показали высокую согласованность.

Дальнейшее направление работы может быть связано, как с расширением возможностей настройки параметров алгоритмов, так и с расширением уже реализованных методов, реализация инструмента для сравнения результатов нескольких методов.

Данная работа была представлена на студенческой научной конференции

(г. Саратов, СГУ имени Н. Г. Чернышевского, 22 апреля 2022 г.).

Основные источники информации:

- 1 Saaty, T. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process : the Organization and Prioritization of Complexity / T. Saaty. Analytic hierarchy process series. — RWS Publications, 1996. — Pp. 23–25.
- 2 Saaty, T. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making With Benefits, Opportunities, Costs, and Risks / T. Saaty. — RWS Publications, 2005. — Pp. 57–63.
- 3 Chatterjee, P. A comparative analysis of VIKOR method and its variants / P. Chatterjee, S. Chakraborty // Decision Science Letters. — 2016. — Vol. 5. — Pp. 469–486.
- 4 Salabun, W. The comet method: the first mcda method completely resistant to rank reversal paradox / W. Salabun, A. Piegat, J. Wattribski, A. Karczmarczyk, J. Jankowski // Multiple criteria decision aiding. — 06 2019. — no. 39. — Pp. 10–16. — Series 3.
- 5 Greco, S. Variable consistency model of dominance-based rough sets approach / S. Greco, B. Matarazzo, R. Slowinski, J. Stefanowski // Rough Sets and Current Trends in Computing. — Springer Berlin Heidelberg, 2001. — Pp. 170–181.
- 6 Dembczynski, K. Statistical model for rough set approach to multicriteria classification. — PKDD, 01 2007. — Pp. 164–175.
- 7 Barfod, M. B. The simple multi attribute rating technique(smart) / M. B. Barfod, S. Leleur // DTU Transport. — 2014. — Pp. 24–29. — Compendium Series part 2.
- 8 Barron, F. The efficacy of SMARTER — simple multi-attribute rating technique extended to ranking / F. Barron, B. E. Barrett // Acta Psychologica. — sep 1996. — Vol. 93, no. 1-3. — Pp. 23–36.