



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ
СЕКЦИЯ „ИНФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ И СИСТЕМИ ЗА ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ“

Зорница Агресимова Димитрова

**МОДЕЛИ И СОФТУЕРНИ АРХИТЕКТУРИ НА СИСТЕМИ
ЗА ПОДПОМАГАНЕ ВЗЕМАНЕТО НА РЕШЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация

за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“

Професионално направление: 4.6. „Информатика и компютърни науки“

Докторска програма „Информатика“

Научен ръководител

проф. д.н. Даниела Борисова

София, 2025

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на секция „Информационни процеси и системи за вземане на решения“ при ИИКТ-БАН, състояло се на 18.11.2025.

Дисертационният труд е структуриран в увод, 4 глави, заключение, приноси, списък на публикациите, декларация за оригиналност на резултатите и библиография. Дисертационният труд е в общ обем от 143 страници, 53 фигури, 24 таблици и 143 литературни източника.

Защитата на дисертацията ще се състои на2026 г. от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

Научно жури

1.
2.
3.
4.
5.

Рецензиите и становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани на сайта на ИИКТ-БАН.

Материалите за защитата са на разположение на интересувашите се в стая на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: **Зорница Агресимова Димитрова**

Заглавие: **Модели и софтуерни архитектури на системи за подпомагане вземането на решения**

УВОД

Използването на методи и модели от многокритериалното вземане на решения, е важно защото те предоставят систематичен подход за оценка на алтернативи. Такива са метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, върху които се съсредоточава настоящия дисертационен труд. Те се отличават с простота, прозрачност и широка приложимост в различни процеси, като бизнес, инженерни, социални, управленски и други. Независимо от широкото им приложение, класическите модели не успяват да отразят напълно реалните условия, в които са поставени лицата, вземащи решения (ЛВР). В практиката често се срещат ситуации, при които ЛВР са с различна компетентност, а за търсеното решение са поставени изисквания за удовлетворяване на ключови показатели от налични обективни характеристики. Тези особености определят необходимостта от разработването на модификации, които не само да повишат прецизността и обективността на взетото решение, но също така и да улеснят процеса по оценяване и по структуриране на задачата за вземане на решение.

За да се осигури практическа приложимост и достъпност на подобни модификации, е удачно те да бъдат имплементирани в уеб базирани приложения. Поради това е необходимо да се проектира подходяща софтуерна архитектура, на база на която да се реализира конкретното приложение, което да отговаря на изискванията за гъвкавост и мащабируемост. Чрез прилагане на утвърдени принципи и добри практики при проектирането на ясно дефинирани архитектури, може да се постигне минимизиране на риска от хаотични и трудно поддържани системи.

Отчитайки тясната връзка между моделите за подпомагане вземането на решения и софтуерните архитектури, става ясно, че е необходимо цялостно разбиране както за процесите на вземане на решения, така и за софтуерните инструменти, имплементиращи тези модели.

Дисертационният труд е структуриран в следните 4 глави.

В Глава 1 е направен анализ на методите за вземане на решение и на софтуерните архитектури за реализиране на уеб приложения. Представени са различни концепции и класификации на методите за многокритериален анализ. По-специално внимание е отделено на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение. Направено е сравнение между двата метода и са разгледани някои техни модификации. Особено внимание е обърнато на класификациите на софтуерните системи за подпомагане вземането на решения (СПВР). Втората част от Глава 1 е с акцент върху софтуерните архитектури за реализиране на уеб приложения. Представен е анализ на концепциите за софтуерни архитектури, архитектурни стилове и шаблони. Въз основа на всичко това са определени изводи, на база на които е формулирана целта и задачите на настоящия дисертационен труд.

В Глава 2 са описани предложените модификации на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, продиктувани от необходимостта за по-прецизно и относително обективно формиране на групово или в частност на индивидуално решение. Първата модификация отчита различията в компетентността на ЛВР спрямо различните критерии, като се използват теглови коефициенти за компетентност. Втората модификация въвежда използването на обективни данни, съчетавайки ги с предпочитанията на ЛВР. По този начин се редуцира субективността и се улеснява процеса по оценяване на алтернативите. Тази модификация се отнася единствено до метода на претеглената сума. По същество тя не променя математическия модел, а добавя формализация на генерирането на оценки, в алгоритъма за реализиране на метода. Третата модификация въвежда нов тип теглови коефициенти за алтернативите, базирани на ключови критерии, които са критични изисквания на конкретната задача. Чрез тези коефициенти, може да се постигне подтискане или усилване на агрегираните резултати, което придава некомпенсаторни характеристики на моделите на претеглената сума и на претегленото произведение. Едновременно с това се намалява броя на субективните оценки и се акцентира върху важността на ключовите изисквания в задачата. Модификацията е валидна за двата метода и променя, както алгоритъма за използването им, така и математическите модели. Всяка от предложените модификации е описана с идентична структура.

В Глава 3 са описани предложените и проектирани две различни софтуерни архитектури на СПВР. Проектирането на две архитектури за една и съща система е обосновано от необходимостта да се оцени и избере подходящия набор от технологии за разработка и експлоатационна среда, като се вземат предвид технологичните изисквания, очакваната натовареност и контекста на използване. Използвани са описаните в Глава 2 модификации, на база на които са формулирани комбиниран и обобщен математически модел. Тези модели определят ядрото на бизнес логиката за вземане на решение. Предложен е обобщен алгоритъм на математическите модели, като ключови стъпки от него са описани с псевдокод. Функционалността на СПВР е проектирана чрез адаптирани UML диаграми. Дефинирани са роли, функционални изисквания и случаи на употреба на системата. Описани са необходимите формуляри и последователността на взаимодействие между потребителя и системата.

В Глава 4 са представени проведените експерименти с предложените модификации върху алгоритъма за използване и моделите на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение. Описани са проведените експерименти върху трите модификации, обобщения алгоритъм и разработения прототип на СПВР. Експериментите са проведени с три различни тестови задачи. За всяка от тях са формулирани отделни сценарии, реализирани с едни и същи обективни входни данни и параметри на задачата.

В заключението са обобщени получените резултати и са очертани някои насоки за бъдещи изследвания.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ И СОФТУЕРНИТЕ АРХИТЕКТУРИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА УЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ

Методите за многокритериално вземане на решения (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) предлагат математически обосновани подходи при задачи с множество критерии и алтернативи. Проучванията показват широкото приложение на тези методи в различни области от практиката [Taherdoost и Madanchian, 2023]. Изследвания със статистически характер, проведени върху различни индустрии показват, че методите на MCDM се използват най-вече при вземането на стратегически и тактически решения, докато на оперативно ниво се използват по-рядко [Khan и др., 2018].

Разработването на уеб-базирани системи за подпомагане на вземането на решения отваря нови възможности за интегриране на утвърдени MCDM методи, предоставяйки интуитивен интерфейс, централизирано управление на данни и достъпност от всяка точка [Magabaleh и др., 2024]. Такава система би позволила на лицата, вземащи решение да се фокусират върху същината на проблема, като останалите дейности, свързани с автоматизирането на рутинни операции като обработка на входни данни, нормализация и агрегиране се делегират на самата софтуерна система.

1.1. Методи за подпомагане вземането на решения

През последните години се наблюдава нарастваща тенденция към интегриране на MCDM с анализ на данни, изкуствен интелект и машинно обучение за подобряване на процесите на вземане на решения [Amini и др., 2024]. Това отразява преминаването към подходи, базирани на повече данни, в различни области.

1.1.1. Концепции и класификации на методите за многокритериален анализ

За разлика от MODM, целта на MADM е да се вземе решение върху дискретно множество от алтернативи, характеризиращи се с множество, често противоречиви атрибути/критерии. В дисертационния труд предметът на изследването е съсредоточен върху метода на претеглената сума (Weighted Sum Model, WSM) и метода на претегленото произведение (Weighted Product Model, WPM).

1.1.2. Метод на претеглената сума и метод на претегленото произведение

Една от най-ранните математически формулировки на първообраза на WSM се среща като сума от произведения, използвана за определяне на очакваната ефективност при избора на посока за развитие на дейността в областта на икономиката и статистиката. Тази формулировка е описана в труда на [Churchman и Ackoff, 1954]. Корените на WPM се проследяват до Bridgman от 1922 г. в контекста на анализ на размерностите и е адаптиран от Miller и Starr през 1969 г. към проблеми, свързани с вземане на решения [Triantaphyllou и Mann, 1989].

1.1.3. Алгоритъм за вземане на решение чрез метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение

Методите WSM и WPM споделят един и същ алгоритъм на цялостния процес по вземане на решение [Bozorg-Haddad и др., 2021]. В проучената литература, алгоритъмът често се представя с вариации по структура и детайлност, а мащабът на изложението варира в зависимост от източника [Baker и др., 2001].

1.1.4. Сравнение на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение

Сравнение между WSM и WPM, което да показва техните характеристики, предимства и недостатъци, е представено в Таблица 1.4.

Таблица 1.4. Сравнение между WSM и WPM.

Характеристики	WSM	WPM
Агрегация	Сума от произведения на оценки на алтернативите и тегла на критериите. Линейна (адитивна).	Произведение от оценките, повдигнати на степен теглата на критериите. Нелинейна (мултипликативна).
Компенсация	Пълна компенсация. Висок резултат по един критерий може да компенсира нисък по друг.	Ограничена компенсация. Ниски стойности по един критерий трудно се компенсират.
Поведение към високи оценки	Подсилва резултата.	Подсилва леко.
Поведение към ниски оценки	Понижава резултата.	По-силно понижава резултата (силен наказателен ефект, особено при оценки близки до 0).
Нормализация на оценките	Необходима (за да бъдат безразмерни и сравними оценките).	По-рядко необходима. Не е задължителна [Tofallis, 2014].
Изисквания за данните	Могат да бъдат положителни или отрицателни.	Само положителни стойности, тъй като 0 елиминира алтернативата.
Чувствителност към интервала на измерване	Висока. Един критерий с голяма стойност може да доминира [Podvezko, 2011].	По-ниска, но много малки стойности силно намаляват резултата.
Интерпретация	Сума от претеглени оценки е полезна за интуитивна интерпретация.	Произведение от претеглени оценки е по-трудно за интуитивно възприемане.
Приложения	Оценка на проекти; Избор на доставчици; Финансов анализ. Най-често използван метод в практиката, подходящ за широк спектър от задачи [Taherdoost, 2023].	Инженерство, Управление на риска. По-рядко използван, но полезен когато е важно да се избегне несъвместимост на единици и когато ниските оценки трябва да се наказват по-силно [Nasr и др., 2022].
Предимства	- Лесен за разбиране и прилагане; - Широко използван.	- Избягва прекомерна компенсация; - Подходящ за критерии, където всеки е критично важен;

		- Подходящ за разнородни измервателни единици.
Недостатъци	- Позволява прекомерна компенсация - Може да изкриви резултати при екстремни стойности	- Чувствителен към много ниски стойности (резултат клони към 0) - По-труден за разбиране и интерпретация.

1.1.5. Модификации над метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение

Като едни от най-старите и фундаментални методи в MCDM, методите WSM и WPM претърпяват множество модификации и адаптации с други методи. Голяма част от тези изменения са насочени към: (1) допълване или промяна в набора от атрибути, върху които се прилагат методите; (2) комбиниране с методи за работа с несигурност и неопределеност; (3) създаване на хибридни модели. С течение на времето методът на претеглената сума и методът на претегленото произведение, са били развивани чрез различни модификации. Тяхната еволюция показва, че те не са забравени статични методи, а динамично се адаптират към нови практически потребности [Gresco и др., 2025]. В резултат на това стават все по-гъвкави, широко приложими и подходящи да се интегрират в СПБР.

1.1.6. Системи за подпомагане вземането на решения

Еволюцията на софтуерно-базираните СПБР е представена като генеалогично дърво, като основните типове са категоризирани от [Arnott и Pervan, 2014]. Разгледаните трудове демонстрират широкото приложение и практическата стойност от реализирането на методите на MCDM в софтуерен инструмент [Petković и др., 2025; Cinelli и др., 2022].

1.2. Софтуерни архитектури за реализиране на уеб приложения

1.2.1. Концепции на софтуерни архитектури, архитектурни стилове и шаблони

С течение на времето в софтуерното инженерство са се формирали различни архитектурни стилове, които задават основните принципи за проектиране на системите [Garlan и Shaw, 1994]. Конкретни реализации в рамките на тези стилове се осъществяват чрез архитектурни шаблони. В практиката често се комбинират различни стилове и шаблони, което позволява извличане на предимствата им и компенсиране на слабостите [Richards и Ford, 2020].

1.2.2. Софтуерни архитектурни стилове и шаблони

Някои основни архитектурни стилове при проектирането на уеб приложения, заедно с често използвани шаблони, могат да се идентифицират, базирайки се на различни източници като [Garlan и Shaw, 1994]. Важно е да се отбележи, че в практиката няма ясно разграничение между архитектурен стил и архитектурен шаблон, както и това къде свършва архитектурния стил и къде започва архитектурата [Perry и Wolf, 1992].

1.2.3. Характеристики за сравнение на софтуерни архитектури

При проектирането на уеб приложения изборът измежду голямото разнообразие от взаимно преплитачи се архитектурни стилове и шаблони, представлява сам по себе си сложна многокритериална задача. Изследване в тази посока е направено от [Galster и др., 2010]. В тази връзка е необходимо да бъдат разгледани ключови характеристики, които могат да служат като критерии за сравнение между софтуерните архитектури и за дефиниране на нефункционални изисквания.

1.3. Изводи

В резултат на извършения обзор, съсредоточен върху метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, се установява, че те са ясно дефинирани, утвърдени и попадат в разнообразни класификации. Широкото им приложение и множеството модификации показват, че тяхното изследване и развитие е перспективно. Разнообразните подходи за субективно и обективно оценяване, нормализация и определяне на тегла, осигуряват гъвкавост и адаптивност към различни задачи, както за индивидуални, така и за групови решения. Въпреки че двата метода са много популярни, прилагането им към оперативни решения в ежедневието изостава. Това е предпоставка за реализирането на WSM и WPM в софтуерен инструмент, като модифицирани по начин, улесняващ ЛВР да ги използва, би имало значима практическа стойност. Тъй като тези модели предполагат интензивни изчислителни операции, често в реално време, както и необходимост от прозрачност и сътрудничество между множество заинтересовани лица, изборът на подходяща софтуерна архитектура се превръща в ключов фактор. Архитектурното решение трябва да гарантира не само коректна обработка и агрегиране на данните, но и висока производителност, надеждност и удобство за потребителите.

1.4. Цел и задачи

Цел на дисертационният труд е да се предложат модели и софтуерни архитектури на системи за подпомагане вземането на решения. За реализиране на целта е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- 1) да се направи анализ на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, както и на основните софтуерни стилове и шаблони за разработка на уеб приложения;
- 2) да се предложи модификация на алгоритъма и моделите на WSM и WPM, отчитаща различните области на компетентност на ЛВР;
- 3) да се предложи модификация на алгоритъма на WSM за формализиране на генерирането на оценки за алтернативите;
- 4) да се предложи модификация на алгоритъма и моделите на WSM и WPM за формализиране на генерирането на коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите;

- 5) да се предложи обобщен алгоритъм и комбинирани математически модели, съчетаващи зададените като цел модификации;
- 6) да се проектират различни софтуерни архитектури, които да удовлетворяват противоречиви изисквания към системата за подпомагане вземането на решения;
- 7) да се разработят прототипи на СПВР в съответствие с проектираните архитектури, включително модул за интерпретация на резултатите;
- 8) да се определи практическата приложимост на предложените модификации, реализирани в софтуерни архитектури на уеб приложения чрез провеждане на числени тестове на задачи от практиката.

ГЛАВА 2. МОДИФИКАЦИИ НА МЕТОДА НА ПРЕТЕГЛЕНАТА СУМА И МЕТОДА НА ПРЕТЕГЛЕНОТО ПРОИЗВЕДЕНИЕ

2.1. Модификация на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, отчитаща различните области на компетентност на ЛВР

При структурирането на задачи за многокритериално групово вземане на решения, се предполага наличието на изчерпателен набор от атрибути/критерии, чрез който се гарантира, че са взети предвид възможно най-много аспекти на разглеждания проблем [Keeney и Gregory, 2005]. Това условие изисква използване на критерии от различни предметни области на познание. Следователно, при формирането на група от компетентни лица се очаква, те да са доказани експерти в своята област на познание, но не винаги те са с еднаква степен на компетентност.

2.1.1. Алгоритъм за реализиране на модификацията, отчитаща различията в областите на компетентност на ЛВР

Алгоритъмът за отчитане компетентността на ЛВР при формиране на групово решение е илюстриран чрез схематична диаграма, показана на Фиг. 2.1.



Фиг. 2.1. Алгоритъм за реализиране на модификацията, отчитаща компетентността на ЛВР в различни области на компетентност.

2.1.2. Математическа формулировка на модифицираните методи, отчитащи различията в областите на компетентност на ЛВР

В настоящия дисертационен труд се предлага модификация, чрез която глобалния за задачата коефициент за компетентност на ЛВР [Borissova и др., 2018], от скаларна стойност да се превърне във вектор. По този начин, вместо да се разглежда индивидуалният принос на едно ЛВР към оценките по критериите с еднаква важност, коефициентът, който изразява неговата компетентност λ^k , ще се разглежда като вектор $\lambda_j^k = \{\lambda_1^k, \lambda_2^k, \dots, \lambda_j^k, \dots\}$. Елементите на новия вектор съдържат коефициенти, съответстващи на нивото на компетентност на ЛВР спрямо всеки един критерий.

При тази постановка, векторът $\{\lambda^k\}$ се превръща в матрицата (двумерен масив) $\{\lambda_j^k\}$. Следователно, математическата формулировка на предложени модифициран модел на метод на претеглената сума придобива следния вид:

$$A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \lambda_j^k w_j^k a_{i,j}^k \quad (2.1)$$

При ограничения:

$$\sum_{j=1}^J w_j^k = 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_j^k = 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, J \quad (2.3)$$

$$a_{i,j}^k, w_j^k, \lambda_j^k \in [0, 1] \quad (2.4)$$

където: $A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM}$ изразява обобщената оценка на i -тата алтернатива, изчислена по така модифицирания метод на претеглената сума; индекс i обозначава текущата алтернатива от общо I на брой; индекс k обозначава k -тия ЛВР от общо K на брой; индекс j обозначава j -тия критерий от общо J на брой; λ_j^k е теглови коефициент, който отразява нивото на компетентност на k -мото ЛВР спрямо j -тия критерий; w_j^k е теглови коефициент, който отразява относителната важност на j -тия критерий според k -мото ЛВР; $a_{i,j}^k$ е оценката дадена на i -тата алтернатива от k -мото ЛВР спрямо j -тия критерий.

Следвайки същата логика, математическата формулировка на предложението модифициран модел на метода на претегленото произведение придобива вида:

$$A_{i \text{ ModifiedWPM}}^{GDM} = \prod_{k=1}^K \prod_{j=1}^J (a_{i,j}^k)^{w_j^k \lambda_j^k} \quad (2.5)$$

При същите ограничения (2.2), (2.3) и още едно относно оценката:

$$a_{i,j}^k = (0,1] \quad (2.6)$$

където: $A_{i \text{ ModifiedWPM}}^{GDM}$ изразява обобщената оценка на i -тата алтернатива, калкулирана по така модифицирания метод на претегленото произведение.

Прилагайки **Стъпка 3** и **Стъпка 4** от алгоритъма на Фиг. 2.1, математическите изрази (2.1) – (2.4), се трансформират, така че да се отчетат коефициентите за компетентност на ЛВР по групи. Модификацията на модела на претеглената сума се представя по следния начин:

$$A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m_l=1}^{M_l} \lambda_l^k w_{m_l}^k a_{i,m_l}^k \quad (2.7)$$

При ограничения:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{m_l=1}^{M_l} w_{m_l}^k = 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.8)$$

$$\sum_{k=1}^K \lambda_l^k = 1, \quad \forall l = 1, 2, \dots, L \quad (2.9)$$

$$a_{i,m_l}^k, w_{m_l}^k, \lambda_l^k \in [0, 1] \quad (2.10)$$

където: индекс l обозначава l -тата група критерии от общо L на брой и $l = 1, 2, \dots, L$; чрез m_l е изразен m -тия критерий от l -тата група от критерии, съдържаща M_l на брой критерии; $w_{m_l}^k$ е коефициент, който отразява относителната важност на m_l -тия критерий според k -мото ЛВР; λ_l^k е теглови коефициент, който отразява нивото на компетентност на k -мото ЛВР спрямо l -тата група от критерии; a_{i,m_l}^k е оценката дадена на i -тата алтернатива от k -мото ЛВР спрямо m_l -тия критерий.

В съответствие с описаното по-горе, математическият модел на модифицирания метод на претегленото произведение придобива следния вид:

$$A_{i \text{ ModifiedWPM}}^{GDM} = \prod_{k=1}^K \prod_{l=1}^L \prod_{m_l=1}^{M_l} (a_{i,m_l}^k)^{\lambda_l^k w_{m_l}^k} \quad (2.11)$$

При същите ограничения (2.8), (2.9) и допълнителното:

$$a_{i,m_l}^k = (0,1] \quad (2.12)$$

2.2. Модификация на метода на претеглената сума, формализираща генериране на оценки за алтернативите

2.2.1. Алгоритъм за реализиране на модификацията, формализираща генериране на оценки за алтернативите

Предложената модификация може да се използва за решаване на практически задачи, следвайки стъпките на алгоритъма представен чрез схемата на Фиг. 2.3.



Фиг. 2.3. Алгоритъм за реализиране на модификацията, формализираща генериране на оценки за алтернативите.

2.2.2. Математическа формулировка на модифицирания метод, формализиращ генериране на оценки за алтернативите

В настоящия дисертационен труд е предложена модификация на WSM с възможност за интегриране на два подхода за генериране на оценки за алтернативите спрямо критериите. Генерираните оценки се базират на обективни данни, като същевременно отчитат индивидуалното предпочитание/мнение на ЛВР. В общия случай, при груповото вземане на решение, математическият модел на модифицирания метод на претеглената сума придобива следния вид:

$$A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J w_j^k \beta_{i,j}^k \quad (2.13)$$

При ограничения:

$$\sum_{j=1}^J w_j^k = 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.14)$$

$$\beta_{i,j}^k, w_j^k \in [0, 1] \quad (2.15)$$

където: $A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM}$ изразява обобщената оценка на i -тата алтернатива, изчислена по така модифицирания WSM; индекс i обозначава i -тата алтернатива от общо I на брой; индекс k обозначава k -тия ЛВР от общо K на брой; индекс j обозначава j -тия критерий от общо J на брой; w_j^k е теглови коефициент, който отразява относителната важност на j -тия критерий според k -мото ЛВР; $\beta_{i,j}^k$ е генерираната оценка на i -тата алтернатива, отчитаща предпочитанията на k -мото ЛВР спрямо j -ти критерий. В зависимост от типа на критерия числено или матрично представен, разграничаваме два типа генерирани оценки:

$$\beta_{i,j}^k = \begin{cases} (b_{i,j}^k)^{norm} & b \in [0, 1] \\ c_{i,j}^k & c \in [0, 1] \end{cases} \quad (2.16)$$

където: $(b_{i,j}^k)^{norm}$ е генерираната оценка по критериите от тип числено представен; $c_{i,j}^k$ е генерираната оценка по критериите от тип матрично представен. В зависимост от предпочитанието на ЛВР, оценката $(b_{i,j}^k)^{norm}$ може да приеме една от двете нормализирани стойности след прилагане на подходяща нормализационна техника:

$$(b_{i,j}^k)^{norm} = \begin{cases} \text{maximize } b_{i,j}^k \\ \text{minimize } b_{i,j}^k \end{cases} \quad (2.17)$$

Оценката спрямо матрично представен критерий, $c_{i,j}^k$ се изчислява както следва:

$$c_{i,j}^k = \frac{\sum_{r=1}^{R_j} s_{r,j}^k v_{i,r,j}}{R_j S} \quad (2.18)$$

При ограничения:

$$v_{i,r,j} \in [0, 1] \quad (2.19)$$

$$\sum_{r=1}^{R_j} v_{i,r,j} \neq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, I \quad (2.20)$$

$$\sum_{i=1}^I v_{i,r,j} \neq 0, \quad \forall r_j = 1, 2, \dots, R_j \quad (2.21)$$

където: броячът r_j обозначава текущата опция от общия брой R_j , съдържащи се в j -тия матрично представен критерий; $s_{r_j}^k$ е векторът с оценки, които отразяват важността на r_j -тата опция според k -томо ЛВР, спрямо предварително определена скала за оценяване с максимална оценка S ; v_{i,r_j} е стойността на i -тата алтернатива спрямо, r_j -тата опция на j -тия матрично представен критерий.

2.3. Модификация на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, формализираща генериране на коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите

2.3.1. Алгоритъм за реализиране на модификацията, формализираща генериране на теглови коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите

Алгоритъмът, който описва предложената модификация, е представен на Фиг. 2.4.



Фиг. 2.4. Алгоритъм за реализиране на модификацията, формализираща генериране на теглови коефициенти за алтернативите.

2.3.2. Математическа формулировка на модифицираните методи, формализиращи генериране на теглови коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите

Настоящата модификация изследва възможността спрямо някои от критериите да се пропусне задаване на оценки за алтернативите. Вместо това се дава възможност за изразяване на предпочитание, като се въвежда нов коефициент, който да отразява относителната важност между опциите, които алтернативите предлагат. По този начин в съчетание с данните и нововъведения коефициент, е възможно по-прецизно да се изрази цялостното представяне на алтернативата.

В общия случай, при груповото вземане на решение, математическият модел на модифицирания метод на претеглената сума, съгласно горните разсъждения, придобива следния вид:

$$A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K (\psi_i^k \sum_{j=1}^J w_j^k a_{i,j}^k) \quad (2.22)$$

$$\psi_i^k = \prod_{n=1}^N \sum_{r_n=1}^{R_n} p_{r_n}^k v_{i,r_n} \quad (2.23)$$

При ограничения:

$$\sum_{r_n=1}^{R_n} p_{r_n}^k = 1, \quad \forall n = 1, 2, \dots, N; \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.24)$$

$$v_{i,r_n} \in [0, 1] \quad (2.25)$$

$$\sum_{r_n=1}^{R_n} v_{i,r_n} \neq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, I \quad (2.26)$$

$$\sum_{i=1}^I v_{i,r_n} \neq 0, \quad \forall r_n = 1, 2, \dots, R_n \quad (2.27)$$

$$\sum_{j=1}^J w_j^k = 1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.28)$$

$$a_{i,j}^k, w_j^k \in [0, 1] \quad (2.29)$$

където: $A_{i \text{ ModifiedWSM}}^{GDM}$ изразява обобщената оценка на i -тата алтернатива, изчислена по модифицирания метод на претеглената сума; индекс i обозначава текущата алтернатива от общо I на брой; индекс k обозначава k -тия ЛВР от общо K на брой; индекс n обозначава n -тия критерий от общо N на брой, предназначени за придаване на предимство; ψ_i^k е генерирания теглови коефициент за i -тата алтернатива на k -тото ЛВР, който съчетава относителната важност на r_n -тата опция на n -тия критерий и v_{i,r_n} стойността при i -тата алтернатива; индекс r_n обозначава r -тата опция на n -тия критерий, съдържащ R_n на брой опции; $p_{r_n}^k$ е теглови коефициент, който отразява важността на r_n -тата опция според k -тото ЛВР; v_{i,r_n} е стойността на i -тата алтернатива спрямо, r_n -тата опция на n -тия матрично представен критерий, предназначен да даде предимство на алтернативите; индекс j обозначава j -тия критерий, предназначен за оценяване от общо J на брой; w_j^k е теглови коефициент, който отразява относителната важност на j -тия критерий за оценяване според k -тото ЛВР; $a_{i,j}^k$ е оценката дадена на i -тата алтернатива от k -тото ЛВР спрямо j -тия критерий.

Математическият модел на модифицирания метод на претегленото произведение придобива следния вид:

$$A_{i \text{ ModifiedWPM}}^{GDM} = \prod_{k=1}^K \psi_i^k \prod_{j=1}^J (a_{i,j}^k)^{w_j^k} \quad (2.30)$$

При същото калкулиране на коефициента за предимство на алтернативите (2.23) и ограничения (2.24) – (2.28) и още едно относно оценката.

$$a_{i,j}^k = (0,1] \quad (2.31)$$

където: $A_{i \text{ ModifiedWPM}}^{GDM}$ изразява обобщената оценка на i -тата алтернатива, калкулирана по така модифицирания метод на претегленото произведение.

2.4. Изводи

Предложените модификации на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение въвеждат три новости: 1) отчитане на персоналната компетентността на ЛВР; 2) генериране на оценки за алтернативите и 3) прилагане на допълнително предимство на алтернативите спрямо ключови критерии. Всички те, могат да бъдат съчетани в един обобщен алгоритъм и математически модел, включващи едновременно прилагане и на трите модификации или на различни комбинации между тях.

Модификациите могат да се разглеждат като съществена стъпка при реализирането на система за подпомагане вземането на решения. Функционираща в уеб среда, такава система би допринесла значително за автоматизиране на някои процеси и улесняване на ЛВР в условията на групово вземане на решения. За реализирането на такъв инструмент, е необходимо освен наличието на модели и алгоритми, така и подходяща софтуерна архитектура.

ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРАНЕ НА СОФТУЕРНИ АРХИТЕКТУРИ НА СИСТЕМИ ЗА ПОДПОМАГАНЕ ВЗЕМАНОТО НА РЕШЕНИЯ

3.1. Математически модели на комбинираните модификации на метода на претеглената сума

Комбинирайки предложената модификация (2.1) – (2.4), отчитаща компетентност на ЛВР за всеки критерий поотделно чрез теглови коефициенти заедно с модификацията (2.13) – (2.21), формализираща генериране на оценки за алтернативите, се предлага следния комбиниран модел на модифицирания метод на претеглената сума:

$$A_{i \text{ CombinedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \lambda_j^k w_j^k \rho_{i,j}^k \quad (3.1)$$

При ограничения (2.2), (2.3) и следното допълнително условие:

$$\rho_{i,j}^k = \begin{cases} a_{i,j}^k & a \in [0, 1] \\ (b_{i,j}^k)^{norm} & b \in [0, 1] \\ c_{i,j}^k & c \in [0, 1] \end{cases} \quad (3.2)$$

За генерирането на $(b_{i,j}^k)^{norm}$ и $c_{i,j}^k$, са валидни формулировките (2.17) и (2.18), както и ограниченията (2.19) – (2.21).

При тази формулировка се използва въведената система от означения в Глава 2, с допълнението, че $A_{i\text{ CombinedWSM}}^{GDM}$ изразява агрегираната оценка на i -тата алтернатива, изчислена по комбинирания модел на модифицирания метод на претеглената сума.

Считавайки комбинацията от (3.1) с модификацията, формализираща коефициент за предимство на алтернативите, се предлага следния обобщен модел на модифицирания метод на претеглената сума:

$$A_{i\text{ GeneralizedW}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K (\psi_i^k \sum_{j=1}^J \lambda_j^k w_j^k \beta_{i,j}^k) \quad (3.3)$$

където: $A_{i\text{ GeneralizedWSM}}^{GDM}$ изразява агрегирана оценка на i -тата алтернатива, изчислена по обобщения модел на модифицирания метод на претеглената сума.

За генерирането на ψ_i^k , е валидно условието (2.23), както и ограниченията (2.24) – (2.29).

Отчитайки възможността за групиране на критериите с цел подпомагане на администрирането, като се задава общ коефициент за компетентност на ЛВР спрямо група критерии, комбинирания модел и обобщения модел придобиват следните форми:

$$A_{i\text{ CombinedWSM}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{m_l=1}^{M_l} \lambda_l^k w_{m_l}^k \beta_{i,m_l}^k \quad (3.4)$$

$$A_{i\text{ GeneralizedWS}}^{GDM} = \sum_{k=1}^K (\psi_i^k \sum_{l=1}^L \sum_{m_l=1}^{M_l} \lambda_l^k w_{m_l}^k \beta_{i,m_l}^k) \quad (3.5)$$

При ограничения (2.8), (2.9) и следното допълнително условие:

$$\beta_{i,m_l}^k = \begin{cases} a_{i,m_l}^k & a \in [0, 1] \\ (b_{i,m_l}^k)^{norm} & b \in [0, 1] \\ c_{i,m_l}^k & c \in [0, 1] \end{cases} \quad (3.6)$$

Матрицата за вземане на решение, върху която се прилага обобщения модел, съчетаващ всички предложени модификации над WSM (3.4), има вида, показан в Таблица 3.1:

Таблица 3.1. Матрица за вземане на решение при обобщен модел на модифицирания метод на претеглената сума.

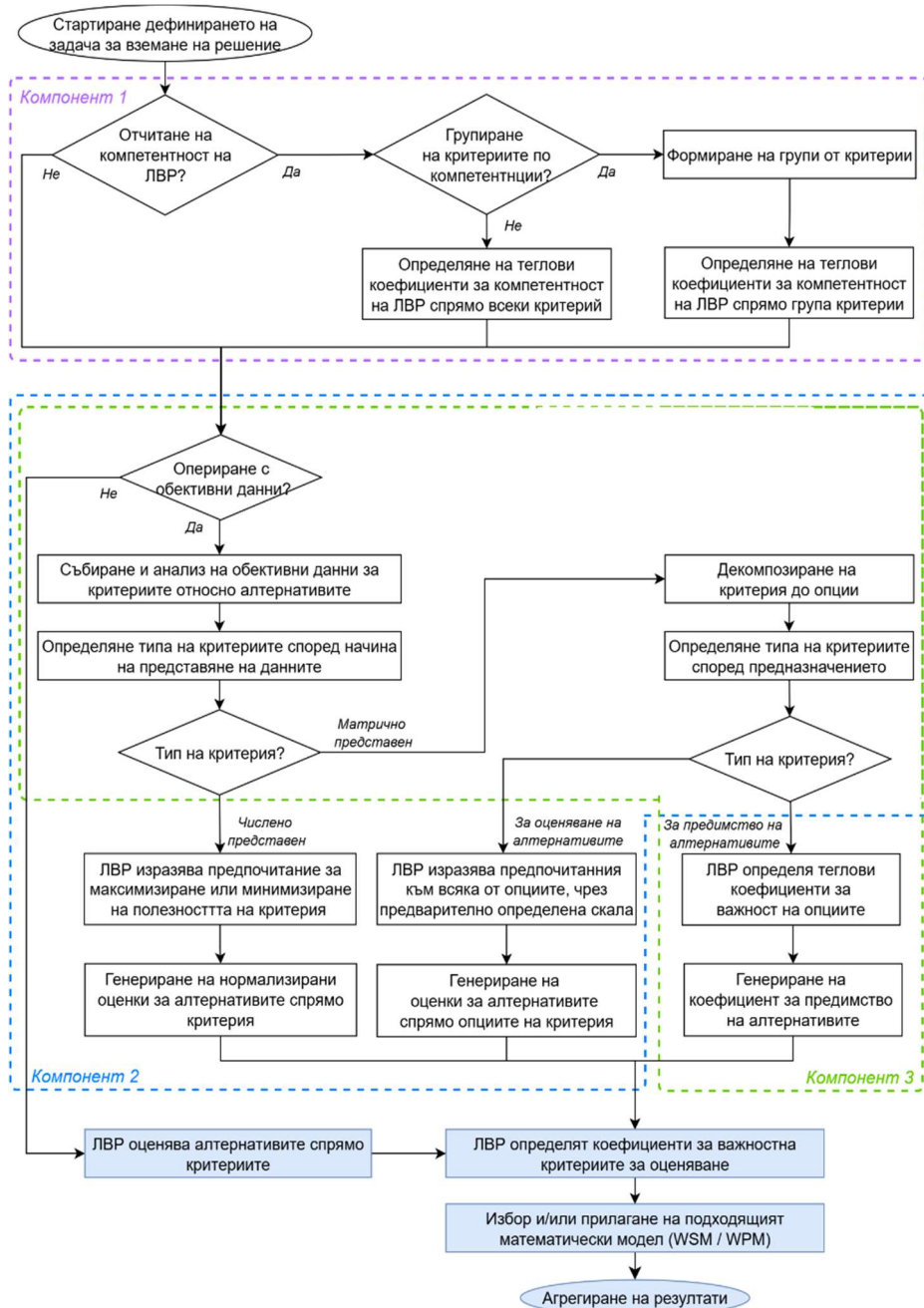
Критерии			Тегла за компетентност на ЛВР			Полезност на критериите при нормализация			Тегла за важност на критериите			Алтернативи – субективни оценки, генерирани оценки, коефициенти						
Тип 1	Тип 2	Критерий										A ₁		...	A _I			
			ЛВР ¹	...	ЛВР ^K	ЛВР ¹	...	ЛВР ^K	ЛВР ¹	...	ЛВР ^K	ЛВР ¹	...	ЛВР ^K	...	ЛВР ¹	...	ЛВР ^K
За оценяване	субективно оценявани	C ₁	λ ₁ ¹	λ _j ^k	λ ₁ ^K	-			w ₁ ¹	...	w ₁ ^K	a _{1,1} ¹	...	a _{1,1} ^K	...	a _{1,1} ¹	...	a _{1,1} ^K
		...	...		...				...	a _{i,j} ^k	...	...	...	a _{i,j} ^k	...			
		C _j	...		...				...	a _{1,j} ¹	...	a _{1,j} ^K	...	a _{1,j} ¹	...	a _{1,j} ^K		
	числено представени	C _j	...		...	max/min	...	max/min	...	...	...	b _{1,j} ¹	...	b _{1,j} ^K	...	b _{1,j} ¹	...	b _{1,j} ^K
		...	...		...	...	...	...	w _j ^k	...	...	b _{i,j} ^k	...	...	...	b _{i,j} ^k	...	
		C _j	...		...	max/min	...	max/min	...	...	...	b _{1,j} ¹	...	b _{1,j} ^K	...	b _{1,j} ¹	...	b _{1,j} ^K
	матрично представени	C _j	...	...	-			...	...	...	c _{1,j} ¹	...	c _{1,j} ^K	...	c _{1,j} ¹	...	c _{1,j} ^K	
		...	...	...				...	...	...	c _{i,j} ^k	...	...	...	c _{i,j} ^k	...		
		C _j	λ _j ¹	λ _j ^K				w _j ¹	...	w _j ^K	c _{1,j} ¹	...	c _{1,j} ^K	...	c _{1,j} ¹	...	c _{1,j} ^K	
		За предимство	матрично представени	C _n	-			-						ψ ₁ ¹	...	ψ ₁ ^K	ψ _i ^k	ψ _j ¹
...																		
C _N																		

Върху така дефинираните математически модели на комбинирания и обобщения метод на претеглената сума, се съставя обобщен алгоритъм, на който се базира бизнес логиката на прототипа на СПВР.

3.2. Обобщен алгоритъм, реализиращ комбиниране на модификациите

Обобщеният алгоритъм има за цел да интегрира всички предложени в настоящия дисертационен труд модификации върху методите WSM и WPM в една система за подпомагане вземането на решения. Алгоритъмът е представен на Фиг. 3.1.

В контекста на софтуерното инженерство, от обобщения алгоритъм се обособяват три основни компонента, съответстващи на всяка от предложените модификации. **Компонент 1** капсулира модификацията, отчитаща компетентността на ЛВР. **Компонент 2** и **Компонент 3** преизползват общи модули, например за декомпозиране на критериите до опции и типизиране на критериите. Логиката за комбиниране на модифицираните математически модели, според архитектурния подход и използваните технологии, може да се реализира на различни програмни езици. Поради това интерес представлява псевдокод, който дефинира логиката за филтриране и предоставяне на избор на подходящ за задачата модел, както е илюстрирано на Фиг. 3.8.



Фиг. 3.1. Обобщен алгоритъм, реализиращ комбиниране на предложените модификации.

Различните комбинации между компонентите позволяват резултатите да се агрегират по един от 13 различни модела – 9 с метода WSM и 4 с WPM, както показват референциите от Фиг. 3.8.

```

Begin Mathematical Model Reduction & Selection // Избор от допустимите модели
if  $\lambda == \text{true}$  &&  $\beta == \text{true}$  &&  $\Psi == \text{true}$  then
    if  $L == \text{true}$  then
        Допустим модел е WSM (3.5)
    else
        Допустим модел е WSM (3.3)
if  $\lambda == \text{true}$  &&  $\beta == \text{true}$  &&  $\Psi == \text{false}$  then
    if  $L == \text{true}$  then
        Допустим модел е WSM (3.4)
    else
        Допустим модел е WSM (3.1)
if  $\lambda == \text{true}$  &&  $\beta == \text{false}$  &&  $\Psi == \text{true}$  then
    if  $L == \text{true}$  then
        За бъдеща разработка
    else
        За бъдеща разработка
if  $\lambda == \text{true}$  &&  $\beta == \text{false}$  &&  $\Psi == \text{false}$  then
    if  $L == \text{true}$  then
        Избор между WSM модел (2.7) и WPM модел (2.11)
    else
        Избор между WSM модел (2.1) и WPM модел (2.5)
if  $\lambda == \text{false}$  &&  $\beta == \text{true}$  &&  $\Psi == \text{true}$  then
    За бъдеща разработка
if  $\lambda == \text{false}$  &&  $\beta == \text{true}$  &&  $\Psi == \text{false}$  then
    Допустим модел е WSM (2.13)
if  $\lambda == \text{false}$  &&  $\beta == \text{false}$  &&  $\Psi == \text{true}$  then
    Избор между WSM модел (2.22) и WPM модел (2.30)
if  $\lambda == \text{false}$  &&  $\beta == \text{false}$  &&  $\Psi == \text{false}$  then
    Избор между класическите: WSM модел (1.3) и WPM модел (1.7)
End

```

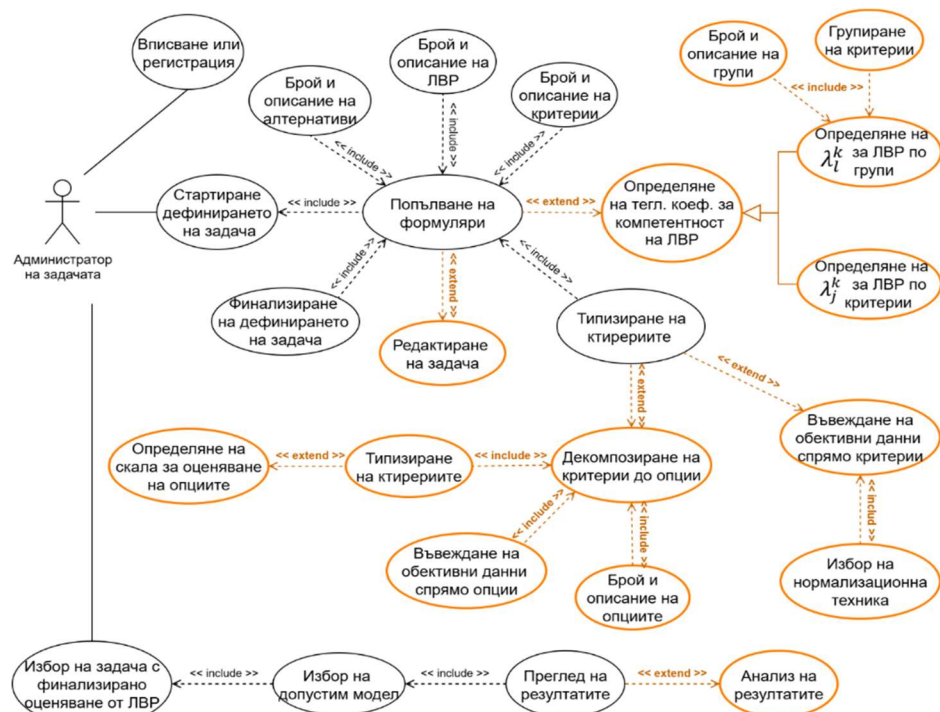
Фиг. 3.8. Блок псевдокод, описващ компонента за филтриране и избор на подходящ за задачата модел.

3.3. Проектиране на функционалността на система за подпомагане вземането на решения

В следствие от предварително направен анализ на изискванията, се дефинират всички функции, които СПВР покрива, както и правилата за изпълнението им. Идентифицират се всички заинтересовани страни, техните роли и необходимия потребителски интерфейс. Разграничават се три роли:

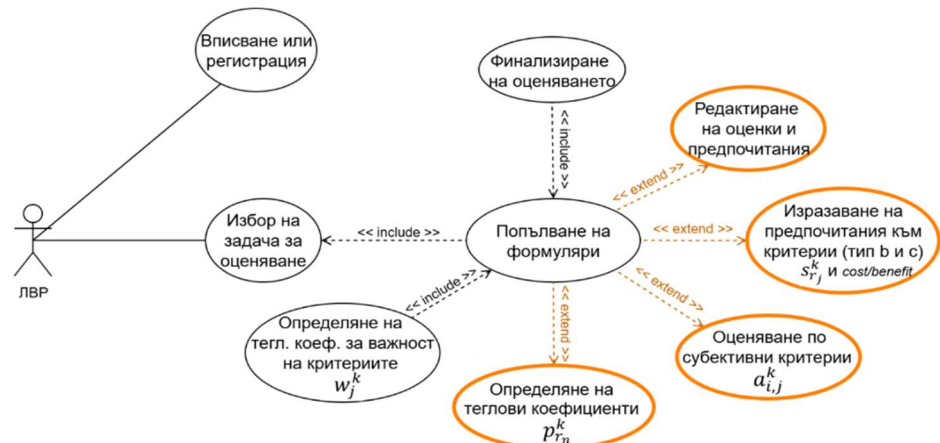
- Администратор на задача за вземане на решение;
- Лица, вземащи решение;
- Системна роля, която обединява дейностите, изпълнявани автоматизирано от системата, следвайки проектираната логика и предложените алгоритми.

Ролята на администратора и взаимодействието му със СПВР, е илюстрирано чрез диаграма на случаите на употреба (UML Use Case Diagram), представена на Фиг. 3.9.



Фиг. 3.9. Адаптирана UML Use Case диаграма за ролята на администратор на задача.

Ролята на ЛВР е описана с аналогична диаграма, представена на Фиг. 3.10.



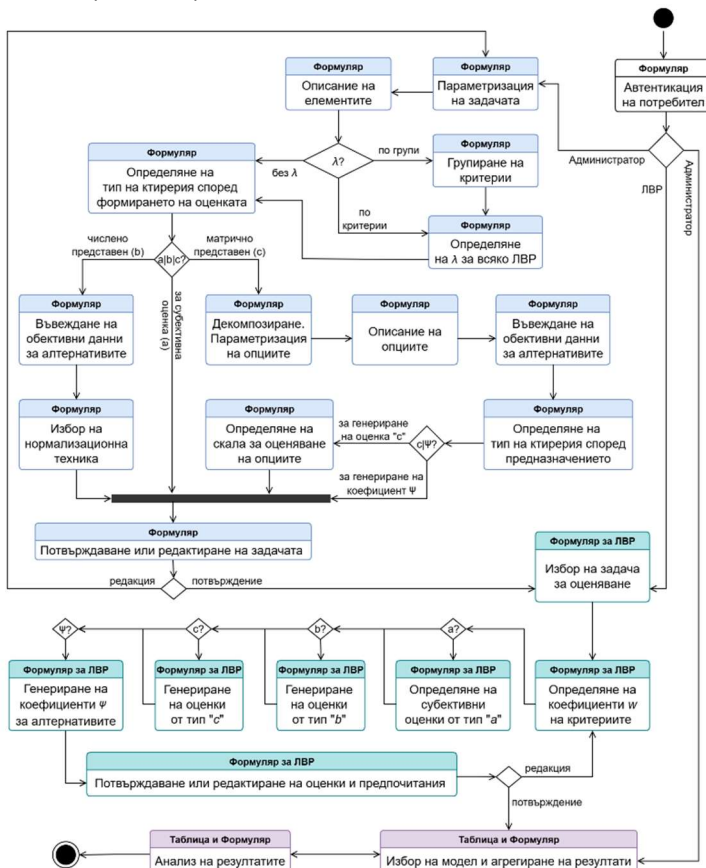
Фиг. 3.10. Адаптирана UML Use Case диаграма за ролята на ЛВР.

Автоматизираните операции, изпълнявани от СПВР, са представени на Фиг. 3.11.



Фиг. 3.11. Адаптирана UML Use Case диаграма за системната роля.

Динамично генерираните формуляри в СПВР, структурират потребителското взаимодействие, а преходите между тях дефинират логиката на работа със системата. Това е показано с адаптирана диаграма на състоянията на Фиг.3.12.

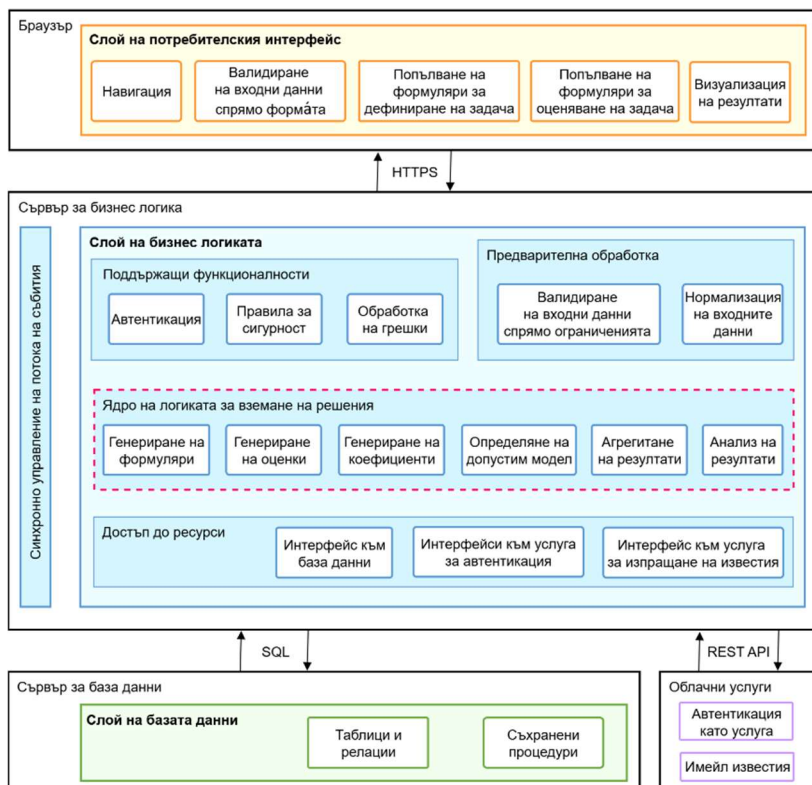


Фиг. 3.12. Адаптирана UML State Machine диаграма на потребителския интерфейс.

Динамично генерираните формуляри се създават в реално време, докато потребителят работи със системата. Това означава, че формулярът не е предварително подготвен (статичен), той се генерира според зададени условия, параметри и контекст на конкретната задача. Процесът е **интерактивен**, защото системата реагира на действията и избора на потребителя отново в реално време, като адаптира съдържанието и структурата на формуляра. Процесът е и **паралелен**, тъй като множество потребители могат едновременно да създават и попълват формуляри с различни параметри от собствените си акаунти, без това да води до конфликти или загуба на данни.

3.4. Уеб базирана СПВР с монолитна трислойна архитектура

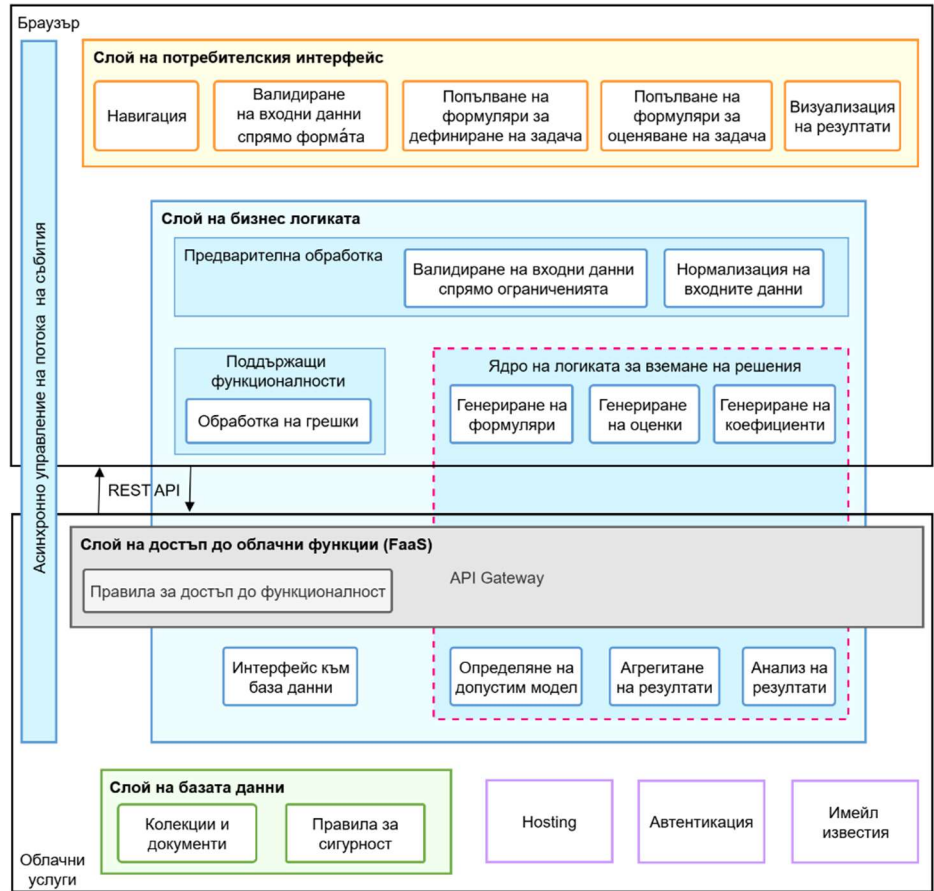
Предложената трислойна архитектура (three-tier architecture), следва класическия трислоен архитектурен шаблон, който осигурява ясно разделение на отговорностите и инфраструктурата, улеснява поддръжката и налага структуриран подход към развитието на системата. От гледна точка на структурирането и разгръщането на кода, е избрано да се следва монолитен архитектурен стил, а потокът на данните се управлява синхронно. Топология на трислойната архитектура използвана за разработка на прототип на СПВР, е дадена на Фиг. 3.13 [Dimitrova и др., 2021].



Фиг. 3.13. Топология на проектираната трислойна архитектура на СПВР.

3.5. Уеб базирана СПВР с безсървърна архитектура

Предложената безсървърна архитектура използва архитектурния шаблон на разпределени функции (FaaS), които се активират при конкретни действия на потребителя или вътрешни за системата събития – асинхронно управление на потока на събитията. Този подход осигурява висока мащабируемост, минимална необходимост от управление на хардуерна и софтуерна инфраструктура, както и много висока адаптивност спрямо натоварването на системата. Топология на безсървърната архитектура, на която се базира разработен прототип на СПВР е показана на Фиг.3.14 [Dimitrova и др., 2024, а].



Фиг. 3.14. Топология на проектираната безсървърна архитектура на СПВР.

3.6. Сравнение на предложените софтуерни архитектури

Сравнение спрямо някои основни характеристики на адаптираните трислойна и безсървърна архитектура на прототипите на СПВР, е представено в Таблица 3.1.

Таблица 3.1. Сравнение между адаптираните трислойна и безсървърна архитектура.

Характеристика	Трислойна архитектура	Безсървърна архитектура
Инфраструктура	Монолитна. Съсредоточена в един сървър	Разпределена между браузър и облачни функции
Разгръщане	Изисква поддръжка и управление на сървъри	Без необходимост от пряко управление на сървъри
Мащабируемост	Ограничена от ресурсите на сървърите	Автоматична спрямо натоварването
Сигурност	Има централизирано управление на достъпа	Прилага се към браузъра и облачните услуги
Производителност	По-бавна, заради нуждата от повече мрежова комуникация	По-бърза, заради по-малката нужда от мрежова комуникация
Разработка	По-ясна структура, по-свободна за разработка	По-сложна структура, с ограничения от облачни функции
Поддръжка	По-трудна, изисква администрация на сървъри	По-лесна, делегирана на облака
Обработване на събитията	Синхронно	Асинхронно

3.7. Изводи

Проектирането на две различни софтуерни архитектури за една и съща СПВР, има за цел да подпомогне избора на архитектурен подход. Този избор следва да се основава не само на функционалните изисквания, но и на нефункционалните характеристики като инфраструктурни възможности, технологичния опит на екипа и очакван мащаб на използване на системата.

Монолитната трислойна архитектура е логичният избор за институции, които разполагат със собствена сървърна инфраструктура и е достатъчна за академични цели като експерименти, обучение и демонстрации. От своя страна, безсървърната разпределена архитектура осигурява висока мащабируемост при динамични натоварвания. Тя е подходяща за организации, които разчитат на облачни услуги и трябва да обслужва голям брой потребители, например корпоративни или публични.

ГЛАВА 4. ЧИСЛЕНО ТЕСТВАНЕ НА МОДИФИЦИРАНИТЕ МЕТОДИ

4.1. Числено тестване на модификацията, отчитаща компетентността на ЛВР в различни области на компетентност

Числено тестване на предложената модификация, отчитаща различията в областите на компетентност на ЛВР, описана в Глава 2, т. 2.1, се изпълнява върху двата метода WSM и WPM.

4.1.1. Сценарии за тестване

За да се изследва спецификата на модификацията, отчитаща степента на компетентност на ЛВР са изследвани два сценария за метода на претеглената сума, използвайки разработения прототип. При първият сценарии (Сценарий 1) се формулира и решава задача

на база на класическия модел на WSM (1.3) – (1.5). Вторият (Сценарий 2) се реализира чрез формулиране и решаване на задача на база на предложената модификация, в съответствие с (2.7) за WSM и (2.11) за WPM. Модификацията на метода на претегленото производство е тествана и сравнена с модификацията на метода на претеглената сума.

4.1.2. Формулиране на задачата за числено тестване

Конкретната задача за избор на платформа за електронна търговия се отнася до малка компания, която предварително е задава три подходящи според нейните цели B2C платформи, а именно: WooCommerce (**A1**); Shopify-Basic (**A2**); и BigCommerce Essentials-Standard (**A3**). Отчитайки и необходимостта от подпомагане на процеса на администриране при групово вземане на решение, се предлага критериите за оценка да се разделят на групи. В Таблица 4.1. са показани както групите, така и съответните критерии, формиращи всяка група.

Таблица 4.1. Критерии за оценка на алтернативи, групирани по област на компетентност

Група 1: Общи критерии	
C1	Ценови модел
C2	Опции за клиентски разплащания
C3	Брой административни потребители (касиер, складов оператор)
C4	Канали за техническа поддръжка
C5	Брой безплатни шаблони за уеб интерфейс
Група 2: Търговски критерии	
C6	Управление на инвентара
C7	Опростен процес за пазаруване
C8	Управление на доставките
C9	Инструмент за търговски анализи
C10	Управление на отстъпки и промоционални кампании
Група 3: Технически критерии	
C11	Внедряване и поддръжка (DevOps)
C12	Сигурност на информацията и плащанията
C13	Адаптивен дизайн
C14	Интеграции с други приложения
C15	Скорост и производителност
C16	Оптимизация за търсещи машини (SEO)
Група 4: Маркетингови критерии	
C17	Персонализация на потребителския интерфейс (UX/UI)
C18	Управление на потребителските отзиви
C19	Канали за реклама

Определена е група от експерти, чиито компетенции напълно покриват така формираните групи критерии, както следва: **ЛВР-1** – собственик на бизнеса; мениджър продажби (**ЛВР-2**); софтуерен инженер (**ЛВР-3**); и маркетингов мениджър (**ЛВР-4**). Същевременно се определят различни теглови коефициенти по начин, който да отразява индивидуалните компетенции на отделното ЛВР. Определените теглови коефициенти за компетентност на ЛВР, съгласно ограничение (2.3), при Сценарий 2 са изложени в Таблица 4.2.

Таблица 4.2. Теглови коефициенти за компетентност на ЛВР, спрямо групите критерии.

Групи критерии	Теглови коефициенти за компетентност на ЛВР			
	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-4
Група 1 (Общи критерии)	0.25	0.25	0.25	0.25
Група 2 (Търговски критерии)	0.15	0.50	0.15	0.20
Група 3 (Технически критерии)	0.14	0.14	0.57	0.15
Група 4 (Маркетингови критерии)	0.25	0.25	0.10	0.40

За всяко ЛВР се генерира матрица за индивидуално вземане на решение, чрез която съответния експерт определя тегловите коефициента за важност на критериите и респективно дава оценки за представянето на всяка от алтернативите спрямо определените критерии. Входните данни за конкретната задача са представени в матрицата за групово вземане на решение, както е показано в Таблица 4.3:

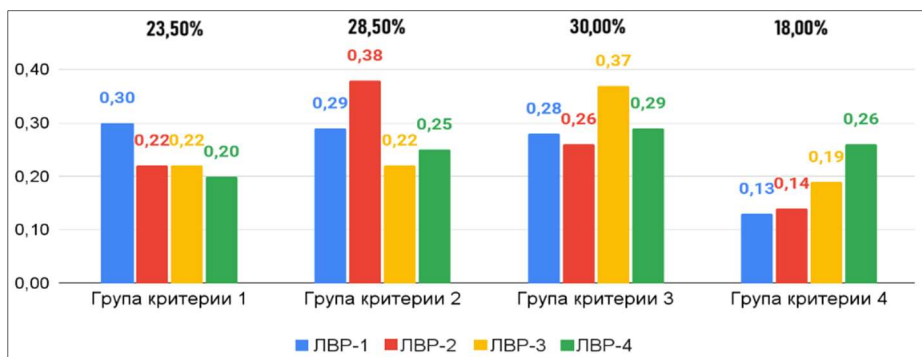
Таблица 4.3. Матрица за групово вземане на решение с отчитане компетентността на ЛВР.

Групи	Критерии				Тегла за компетентност на ЛВР				Оценки на алтернативите															
	№	Тегла за важност							A1 (WooCommerce)				A2 (Shopify)				A3 (BigCommerce)							
		ЛВР 1	ЛВР 2	ЛВР 3	ЛВР 4	ЛВР 1	ЛВР 2	ЛВР 3	ЛВР 4	ЛВР 1	ЛВР 2	ЛВР 3	ЛВР 4	ЛВР 1	ЛВР 2	ЛВР 3	ЛВР 4	ЛВР 1	ЛВР 2	ЛВР 3	ЛВР 4			
Група 1	C1	0.10	0.03	0.02	0.01	0.25	0.25	0.25	0.25	0.43	0.38	0.62	0.57	0.24	0.62	0.52	0.57	0.24	0.62	0.52	0.57			
	C2	0.06	0.08	0.02	0.07					0.14	0.33	0.05	0.29	0.14	0.33	0.05	0.33	0.24	0.14	0.33	0.10			
	C3	0.05	0.02	0.05	0.01					0.10	0.10	0.10	0.19	0.29	0.14	0.10	0.19	0.33	0.29	0.29	0.24			
	C4	0.07	0.04	0.10	0.04					0.40	0.14	0.50	0.33	0.81	0.50	0.57	0.62	0.81	0.50	0.57	0.62			
	C5	0.02	0.05	0.03	0.07					0.24	0.19	0.19	0.24	0.24	0.33	0.19	0.29	0.29	0.05	0.24	0.33			
Група 2	C6	0.08	0.10	0.07	0.04	0.15	0.50	0.15	0.20	0.39	0.45	0.47	0.44	0.35	0.88	0.51	0.53	0.75	0.35	0.69	0.77			
	C7	0.03	0.07	0.04	0.06					0.50	0.51	0.49	0.48	0.62	0.58	0.49	0.53	0.49	0.42	0.51	0.55			
	C8	0.05	0.08	0.02	0.03					0.41	0.33	0.44	0.39	0.52	0.67	0.55	0.61	0.48	0.40	0.49	0.52			
	C9	0.10	0.06	0.06	0.06					0.66	0.71	0.59	0.61	0.69	0.89	0.66	0.71	0.60	0.71	0.59	0.61			
	C10	0.03	0.07	0.03	0.06					0.35	0.42	0.47	0.38	0.55	0.72	0.71	0.62	0.51	0.62	0.55	0.49			
Група 3	C11	0.08	0.03	0.09	0.02	0.14	0.14	0.57	0.15	0.56	0.52	0.95	0.40	0.61	0.40	0.30	0.45	0.59	0.39	0.30	0.44			
	C12	0.07	0.08	0.06	0.04					0.61	0.69	0.71	0.59	0.48	0.59	0.60	0.49	0.51	0.55	0.59	0.41			
	C13	0.04	0.03	0.06	0.06					0.31	0.40	0.65	0.25	0.42	0.50	0.59	0.62	0.36	0.55	0.57	0.45			
	C14	0.03	0.05	0.07	0.04					0.69	0.72	0.85	0.74	0.33	0.42	0.33	0.50	0.45	0.46	0.40	0.42			
	C15	0.03	0.04	0.04	0.05					0.35	0.40	0.62	0.33	0.55	0.61	0.50	0.46	0.51	0.60	0.49	0.44			
Група 4	C16	0.03	0.03	0.05	0.08	0.25	0.25	0.10	0.40	0.51	0.46	0.63	0.44	0.53	0.57	0.49	0.60	0.49	0.50	0.38	0.50			
	C17	0.03	0.06	0.09	0.09					0.32	0.37	0.41	0.39	0.47	0.42	0.39	0.39	0.51	0.41	0.42	0.44			
	C18	0.06	0.04	0.05	0.07					0.66	0.63	0.72	0.82	0.67	0.72	0.74	0.81	0.76	0.77	0.67	0.79			
	C19	0.04	0.04	0.05	0.10					0.61	0.62	0.71	0.62	0.34	0.45	0.55	0.49	0.77	0.82	0.88	0.85			

4.1.3. Анализ на входните данни

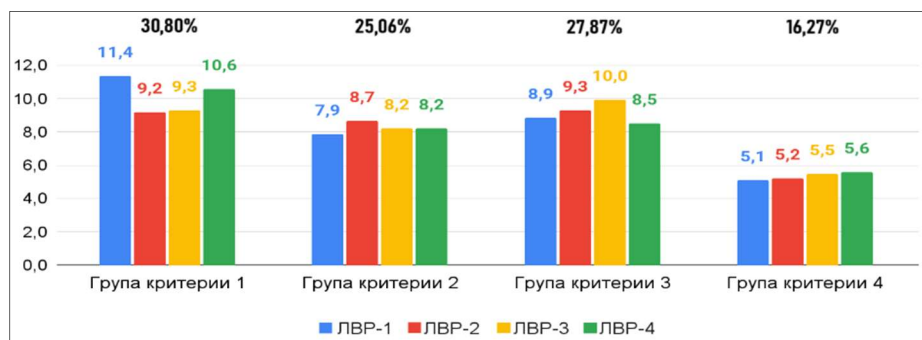
На база на данните от Таблицы 4.3 – 3 алтернативи, 4 ЛВР, 19 критерия, разпределени в 4 групи, е направен анализ на входните данни, преди да се приложат математическите модели на метода на претегленото произведение и двата сценария за метода на претеглената сума.

Всяко ЛВР е посочило, че най-важни за него са критериите в групата, където е с най-висока компетентност, това се вижда от Фиг. 4.1.



Фиг. 4.1. Съотношения на определени от ЛВР, коефициенти за важност на критериите, спрямо групите критерии и процентното съотношение между групите критерии.

Предпочитанията към алтернативите, изразени единствено чрез оценки, като се изключи влиянието на коефициентите за важност и компетентност са представени на Фиг. 4.2.

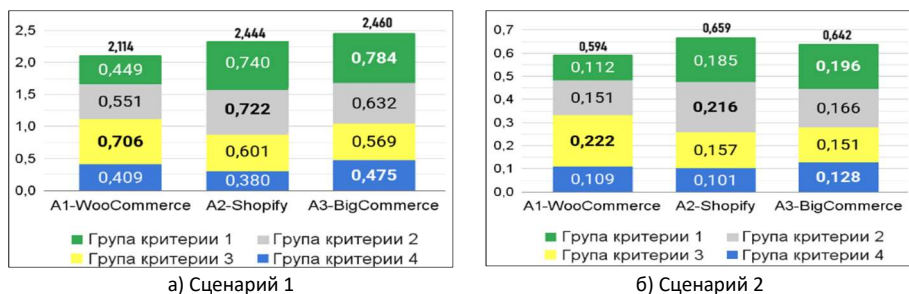


Фиг. 4.2. Съотношения на определените от ЛВР оценки за алтернативите, спрямо групите критерии и процентното съотношение между групите критерии.

Предварителният анализ на входните данни е ключов за интерпретацията на резултатите получени след прилагане на математическите модели на методите за групово вземане на решение.

4.1.4. Резултати от численото тестване на модификацията на метода на претеглената сума

При Сценарий 1 се използва функцията на полезност на класическия метод на претеглената сума (1.3) – (1.5). При Сценарий 2, върху същите данни и при условие, че се групират критериите (с цел подпомагане на администрирането на задачата), се използва модифицирания метод на претеглената сума (2.7) – (2.10). Получените резултати от груповото решение класират алтернативите при двата сценария, както е илюстрирано на Фиг. 4.5 (а, б).

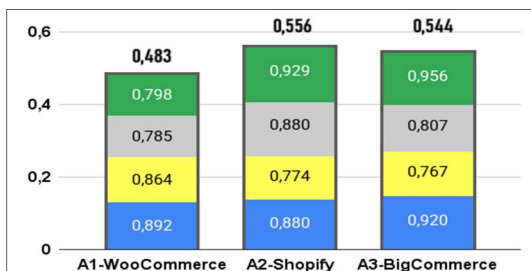


Фиг. 4.5. Класиране на платформите за електронна търговия при Сценарий 1 и Сценарий 2.

Ключовата причина за разместването в класирането на алтернативите се забелязва в Група критерии 2, където тежестта, която се придава на мнението на търговския мениджър (ЛВР-2) е най-висока (0,50 от 1,00 – вж. Таблица 4.2). Предварителният анализ на входните данни от Таблица 4.3 показва, че всички оценки на ЛВР-2 за алтернативите по критериите в тази група са в полза на A2-Shopify (общо 3,740). Допълнително, от Фиг. 4.1. се може да се установи, че той е лицето направило най-високото разпределение на коефициентите за важност на критериите, съставлящи Група 2 (0,38 от 1,00). Следователно тази комбинация е довела до повишаване на съотношението между оценките на алтернативи A2 и A3 по критериите в Група. Тази промяна се оказва достатъчна, за да се получи различно класиране на алтернативите.

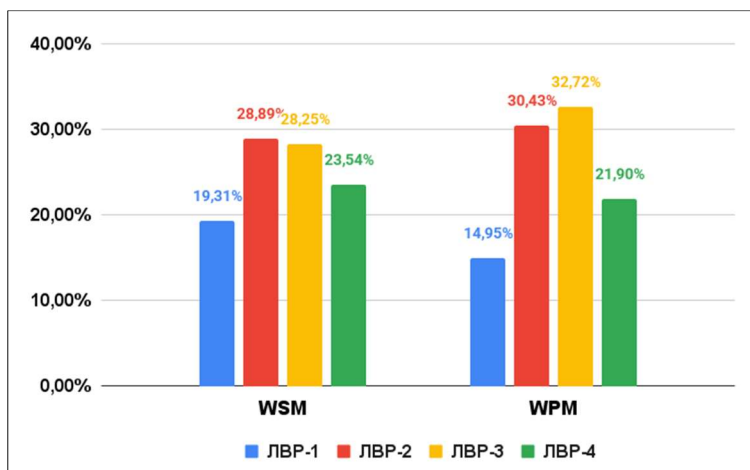
4.1.5. Резултати от численото тестване на модификацията на метода на претегленото произведение

Модификацията на метода на претегленото произведение се тества върху входните данни дефинирани в Таблица 4.2 и Таблица 4.3. Предварителният анализ илюстриран на Фиг. 4.1 – Фиг. 4.4 е валиден и в този случай. Получените резултати от груповото решение класират алтернативите както е илюстрирано на Фиг. 4.10.



Фиг. 4.10. Класиране на платформите за електронна търговия при използване на модифицирания модел на претегленото произведение.

Може да се отбележи, че се запазва класирането получено от модифицирания WSM. Сравнение на влиянието на отделните ЛВР, общо за задачата, при двата метода е представено с диаграмата на Фиг.4.13.



Фиг. 4.13. Сравнение на влиянието на ЛВР при модифицираните WSM и WPM.

4.2. Числено тестване на модификацията, формализираща генериране на оценки за алтернативите

За да се определи приложимостта на предложената модификация на метода на претеглената сума, формулирана чрез модела (2.13) – (2.21) (Глава 2, т. 2.2), както и приложимостта на варианта на комбиниран модел (3.4), който включва същата модификация, е разгледана задача за избор на монитори, като част от офис оборудването на средна по размер компания от сферата на ИТ.

4.2.1. Сценарии за тестване

Разглеждат се три сценария в условията на групово вземане на решение. Всички те се развиват върху едни и същи коефициенти за важност на критериите и едни и същи обективни данни за алтернативите. Първите два сценария (Сценарий 1 и Сценарий 2) се базират на описаната в Глава 2, т. 2.2 модификация на метода WSM (2.13) – (2.21). При Сценарий 1, генерирането на оценка на база определяне на ползата от критериите (2.17), зависи изцяло от предпочитанията на администратора на задачата. При Сценарий 2 се демонстрира възможността за индивидуално определяне на ползата от критериите. В допълнение, при Сценарий 2 се тества и генерирането на оценки спрямо декомпозираните критерии при промяната в предпочитанията на ЛВР към опциите (2.18). При Сценарий 3, задачата се решава чрез комбиниране на модификацията за генериране на оценки с модификацията за отчитане на компетентността на ЛВР в различни области на компетентност, съгласно комбинирания модел (3.4). Входните данни при Сценарий 3 са аналогични на тези при Сценарий 2, с тази разликата, че се използва различна техника за нормализация. Целта при този сценарий е да се демонстрира и приложимостта на обобщения алгоритъм представен в Глава 3, т. 3.1 и гъвкавостта на проектираната система за подпомагане вземането на решения.

4.2.2. Формулиране на задачата за числено тестване

Задачата за определяне на подходящо офис оборудване се реализира при следните изходни условия: 3 алтернативи, 3 ЛВР и 3 групи критерии, съдържащи общо 12 критерия, 4 от които са декомпозирани до 13 опции. Предварително определени като подходящи са следните 3 типа монитори (3 алтернативи): Dell U2724DE (**A1**), Samsung U32J590 (**A2**), MSI MEG 342C (**A3**). Лицата, формиращи крайното групово решение са както следва: (1) специалист от финансовия отдел (**ЛВР-1**); (2) специалист по човешките ресурси (**ЛВР-2**); (3) техническо лице - софтуерен инженер (**ЛВР-3**). Критериите за избор на подходящия тип монитор са организирани в три тематично свързани групи, както е показано в Таблица 4.4.

Таблица 4.4. Групираны критерии за оценка на алтернативите, тип на критериите и коефициенти за тяхната важност определени от ЛВР.

Група критерии	Критерий	Тип на критерия	Коефициенти за важност на критериите		
			ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
Група 1: Финансови критерии	C1: Цена	Числено представен	0,19	0,07	0,03
	C2: Гаранция	Числено представен	0,16	0,12	0,01
	C3: Консумация на енергия	Числено представен	0,11	0,07	0,01
Група 2: Грижа за здравето и ергономия	C4: Защита на зрението	Матрично представен	0,10	0,19	0,15
	C5: Ъгъл на наклон	Числено представен	0,04	0,07	0,05
	C6: Портретен режим	Числено представен	0,02	0,09	0,15
Група 3: Технически критерии	C7: Размер на екрана	Матрично представен	0,09	0,08	0,20
	C8: Тип на панела	Матрично представен	0,08	0,06	0,10
	C9: Резолюция	Матрично представен	0,09	0,06	0,10
	C10: Честота на опресняване	Числено представен	0,04	0,06	0,05
	C11: Яркост	Числено представен	0,04	0,06	0,05
	C12: Цветова гама	Числено представен	0,04	0,07	0,10

Опциите, до които се декомпозират матрично представените критерии за конкретната задача са представени в Таблица 4.5.

Таблица 4.5. Матрично представени критерии декомпозирани до опции.

C4: Защита на зрението	
O1	Филтър за синя светлина
O2	Контрол над ШИМ
O3	Сензор за околна светлина
O4	Антирефлексно покритие
C7: Размер на екрана	
O5	Размер на екрана 27"
O6	Размер на екрана 31.5"
O7	Размер на екрана 34.2"
C8: Тип на панела	
O8	IPS
O9	VA
O10	OLED
C9: Резолюция	
O11	UW-QHD
O12	UHD
O13	QHD

Изразените от ЛВР предпочитания относно това дали критерият се подобрява ако се максимизира или минимизира, са представени в Таблица 4.6.

Таблица 4.6. Числено представени критерии и техните мерни единици, стойности за алтернативите и предпочитания на ЛВР за полезността им при трите сценария.

Критерии	Мерна единица	Стойности за алтернативите			Сценарий 1 - предпочитания			Сценарий 2- предпочитания			Сценарий 3- предпочитания		
		A1	A2	A3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
C1	EUR	505	290	1247	cost	cost	cost	cost	cost	benefit	cost	cost	benefit
C2	Месеци	36	24	36	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit	benefit
C3	Кв./ч	24,4	59	42,3	cost	cost	cost	cost	cost	cost	cost	cost	cost
C5	Градуси	26	17	25	benefit	benefit	benefit	cost	benefit	benefit	cost	benefit	benefit
C6	Наличност	1	0	0	cost	cost	cost	cost	cost	benefit	cost	cost	benefit
C10	Hz	120	60	175	benefit	benefit	benefit	cost	benefit	benefit	cost	benefit	benefit
C11	cd/m ²	350	270	250	cost	cost	cost	cost	cost	benefit	cost	cost	benefit
C12	% sRGB	100	99,1	139	benefit	benefit	benefit	cost	benefit	benefit	cost	benefit	benefit

Данните относно опциите, заедно с определените от ЛВР оценъчни точки за важност на опциите, са представени в Таблица 4.7.

Таблица 4.7. Матрично представени критерии, декомпозирани до опции и техните стойности за алтернативите заедно с определените от ЛВР оценъчни точки за важността им при трите сценария.

Критерии		Стойности на опциите			Оценъчни точки за важността на опциите								
					Сценарий 1			Сценарий 2			Сценарий 3		
№	Опции	A1	A2	A3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
C4	O1	1	0	1	4	5	5	4	5	5	4	5	5
	O2	0	1	1	4	5	5	4	5	5	4	5	5
	O3	1	0	1	2	2	4	2	2	4	2	2	4
	O4	1	1	1	2	3	5	2	3	5	2	3	5
C7	O5	1	0	0	4	3	3	4	3	1	4	3	1
	O6	0	1	0	4	3	4	4	3	5	4	3	5
	O7	0	0	1	2	3	5	2	3	3	2	3	3
C8	O8	1	0	0	4	4	2	4	4	2	4	4	2
	O9	0	1	0	4	3	3	4	3	1	4	3	1
	O10	0	0	1	2	2	5	2	2	5	2	2	5
C9	O11	0	0	1	1	2	5	1	2	5	1	2	5
	O12	0	1	0	2	5	5	2	5	2	2	5	2
	O13	1	0	0	4	3	2	4	3	2	4	3	2

Трябва да се отбележи, че опциите приемат булева стойност, която отразява наличието на съответната характеристика при всяка една от алтернативите. ЛВР изразяват предпочитанията относно опциите чрез скалата от 1 до 5.

В съответствие със Сценарий 3, за определените групи критерии са зададени теглови коефициенти, отразяващи степента на компетентност на ЛВР, както е показано в Таблица 4.8.

Таблица 4.8. Теглови коефициенти за компетентност на ЛВР, спрямо групите от критерии.

Групи критерии	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
Група 1: Финансови критерии	0.62	0.21	0.17
Група 2: Грижа за здравето и ергономия	0.26	0.40	0.34
Група 3: Технически критерии	0.30	0.15	0.55

За всеки от трите описани сценария, съобразно входните данни се генерират индивидуални формуляри за попълване на предпочитанията на ЛВР, въз основа на които се изчисляват оценките за алтернативите.

4.2.3. Резултати от численото тестване на модификацията на метода на претеглената сума

Модификацията засяга алгоритъма за реализация на метода на претеглената сума, като формализира подход за генериране на оценки, без да променя механизма за агрегиране на атрибутите в крайния резултат. Поради това интерпретацията на резултатите е насочена към стъпките за генериране на оценки в средата на разработения прототип на система за подпомагане вземането на решения.

Съгласно **Стъпка 4** от алгоритъма за реализиране на модификацията (вж. Глава 2, т. 2.2.1), се генерира формуляр за предпочитания към числените критерии. При Сценарий 1 формулярът се попълва единствено от администратора, като въведените предпочитания се отнасят за всички ЛВР. Изглед от формуляра е показан на Фиг. 4.14.

Администратор

Определяне на полезността на критериите и генериране на оценки за алтернативите

Критерии	Cost	Benefit	Генерирани оценки		
			A1	A2	A3
C1 Цена	☒	☐	0,574	1,000	0,233
C2 Гаранция	☐	☒	1,000	0,667	1,000
C3 Консумация на енергия	☒	☐	1,000	0,414	0,577
C5 Ъгъл на наклон	☐	☒	1,000	0,654	0,962
C6 Портретен режим	☒	☐	0,000	1,000	1,000
C10 Честота на опресняване	☐	☒	0,686	0,343	1,000
C11 Яркост	☒	☐	0,714	0,926	1,000
C12 Цветова гама	☐	☒	0,719	0,713	1,000

Фиг. 4.14. Формуляр за изразяване на предпочитания към полезността по числените критерии. Изглед от прототипът на система за подпомагане вземането на решения.

Когато критерият е от тип матрично представен, съгласно **Стъпка 7** от алгоритъма, на всеки ЛВР се предоставя възможност да изрази предпочитанията си към опциите на алтернативите. За тази цел в прототипа на системата за подпомагане вземането на решения

се генерира индивидуален формуляр за всяко ЛВР. Примерен изглед, при Сценарий 1, за ЛВР-1 е представен на Фиг. 4.15.

ЛВР-1

Оценяване на опциите и генериране на оценки за алтернативите

Критерии и опции		Оценка	Генерирани оценки		
			A1	A2	A3
C4	Защита на зрението		0,400	0,300	0,600
O1	Филтър за синя светлина	4			
O2	Контрол над ШИМ	4			
O3	Сензор за околна светлина	2			
O4	Антирефлексно покритие	2			
C7	Размер на екрана		0,267	0,267	0,133
O5	Размер на екрана 27"	4			
O6	Размер на екрана 31.5"	4			
O7	Размер на екрана 34.2"	2			
C8	Тип на панела		0,267	0,267	0,133
O8	IPS	4			
O9	VA	4			
O10	OLED	2			
C9	Резолюция		0,267	0,133	0,067
O11	UW-QHD	1			
O12	UHD	2			
O13	QHD	4 (по-скоро да)			

Фиг. 4.15. Формуляр за изразяване на предпочитания към опциите на алтернативите, при матрично представените критерии. Изглед от прототипът на СПВР.

Така генерираните оценки, заедно с коефициентите за важност на критериите са обобщени в матрицата за вземане на решение от Фиг. 4.16.

Администратор

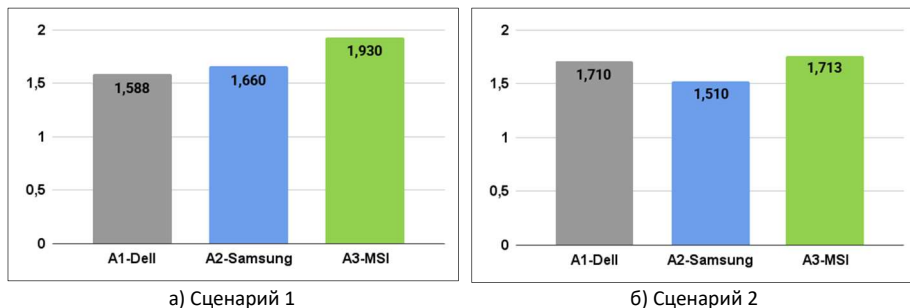


Обобщена матрица на алтернативите

КРИТЕРИИ		Теглови коефициенти за важност на критериите			Генерирани оценки за алтернативите								
					A1 Dell U2724DE			A2 Samsung U32J590			A3 MSI MEG 342C		
		ЛВР-1: Финансист	ЛВР-2: Човешки ресурси	ЛВР-3: Софтуерен инженер	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
C1	Цена	0,19	0,07	0,03	0,574			1,000			0,233		
C2	Гаранция	0,16	0,12	0,01	1,000			0,667			1,000		
C3	Консумация на енергия	0,11	0,07	0,01	1,000			0,414			0,577		
C4	Защита на зрението	0,10	0,19	0,15	0,400	0,500	0,700	0,300	0,400	0,500	0,600	0,750	0,950
C5	Ъгъл на наклон	0,04	0,07	0,05	1,000			0,654			0,962		
C6	Портретен режим	0,02	0,09	0,15	0,000			1,000			1,000		
C7	Размер на екрана	0,09	0,08	0,20	0,267	0,200	0,200	0,267	0,200	0,267	0,133	0,200	0,333
C8	Тип на панела	0,08	0,06	0,10	0,267	0,267	0,133	0,267	0,200	0,200	0,133	0,133	0,333
C9	Резолюция	0,09	0,06	0,10	0,267	0,200	0,133	0,133	0,333	0,333	0,067	0,133	0,333
C10	Честота на опресняване	0,04	0,06	0,05	0,686			0,343			1,000		
C11	Яркост	0,04	0,06	0,05	0,714			0,926			1,000		
C12	Цветова гама	0,04	0,07	0,10	0,719			0,713			1,000		

Фиг. 4.16. Матрица за вземане на решение при Сценарий 1. Изглед от прототипът на СПВР.

След прилагане на моделът на модифицирания метод на претеглената сума (2.13) върху матрицата за вземане на решения, за Сценарий 1 и за Сценарий 2, се получава следната класация на алтернативите, показана на Фиг. 4.17.



Фиг. 4.17. Класиране на мониторите при Сценарий 1 и Сценарий 2.

4.2.4. Резултати от численото тестване на комбинирания модел на метода на претеглената сума

При Сценарий 3, променяйки нормализационната техника и включвайки тегловите коефициенти за компетентност на ЛВР, матрицата за групово вземане на решение, придобива различен вид, както е илюстрирано на Фиг. 4.21.

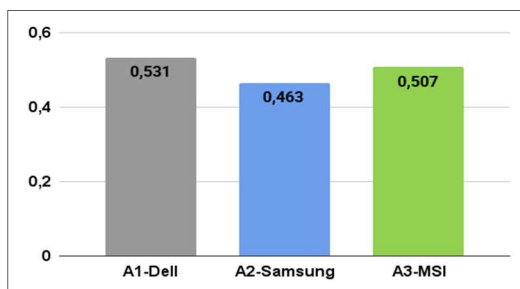
Администратор

Обобщена матрица на алтернативите

КРИТЕРИИ	Теглови коефициенти за важност на критериите и за компетентност на ЛВР			Генерирани оценки за алтернативите								
	ЛВР-1: Финансист	ЛВР-2: Човешки ресурси	ЛВР-3: Софтуерен инженер	A1 Dell U2724DE			A2 Samsung U32J590			A3 MSI MEG 342C		
				ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-3
Група 1: Финансови критерии	0,62	0,21	0,17	0,224			0,179			0,136		
C1 Цена	0,19	0,07	0,03	0,633	0,633	0,367	0,789	0,789	0,211	0,094	0,094	0,906
C2 Гаранция	0,16	0,12	0,01	0,640	0,640	0,640	0,426	0,426	0,426	0,640	0,640	0,640
C3 Консумация на енергия	0,11	0,07	0,01	0,681	0,681	0,681	0,230	0,230	0,230	0,448	0,448	0,448
Група 2: Грижа за здравето и...	0,26	0,40	0,34	0,168			0,130			0,194		
C4 Защита на зрението	0,10	0,19	0,15	0,400	0,500	0,700	0,300	0,400	0,500	0,600	0,750	0,950
C5 Ъгъл на наклон	0,04	0,07	0,05	0,348	0,652	0,652	0,574	0,426	0,426	0,373	0,627	0,627
C6 Портретен режим	0,02	0,09	0,15	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000
Група 3: Технически критерии	0,30	0,15	0,55	0,139			0,154			0,177		
C7 Размер на екрана	0,09	0,08	0,20	0,267	0,200	0,067	0,267	0,200	0,333	0,133	0,200	0,200
C8 Тип на панела	0,08	0,06	0,10	0,267	0,267	0,133	0,267	0,200	0,067	0,133	0,133	0,333
C9 Резолюция	0,09	0,06	0,10	0,267	0,200	0,133	0,133	0,333	0,133	0,067	0,133	0,333
C10 Честота на опресняване	0,04	0,06	0,05	0,456	0,544	0,544	0,728	0,272	0,272	0,206	0,794	0,794
C11 Яркост	0,04	0,06	0,05	0,311	0,311	0,689	0,468	0,468	0,532	0,508	0,508	0,492
C12 Цветова гама	0,04	0,07	0,10	0,495	0,505	0,505	0,499	0,501	0,501	0,297	0,703	0,703

Фиг. 4.21. Матрица за вземане на решение при Сценарий 3, с включени агрегирани оценки по групи критерии. Изглед от прототипът на СПВР.

Установените тенденции при изходния Сценарий 2 (агрегираната оценка на A1 да расте, за сметка на тези на A2 и A3) се потвърждават и дори увеличават при Сценарий 3, което води до промяна в класацията, като A1 успява да надмине A3, както е показано на Фиг. 4.22.



Фиг. 4.22. Класиране на мониторите при Сценарий 3.

Двете модификации се съчетават и допълват успешно, тъй като не си пречат, изпълнявайки се на различни стъпки от алгоритъма.

4.3. Числено тестване на модификацията, формализираща генериране на коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите

Приложимостта на предложената модификация на WSM и WPM, формализираща генерирането на теглови коефициенти за алтернативите (вж. Глава 2, т. 2.3), е тествана при задача за избор на софтуерна рамка за уеб разработка.

4.3.1. Сценарии за тестване

За да се тества приложимостта на предложената модификация върху двата метода, както и върху обобщения модел на WSM, са съставени три сценария. Сценарий 1 и Сценарий 2 се развиват в условието на индивидуално вземане на решение и имат за цел да изследват ефекта от нововъведения тип коефициент при използване на методите WSM и WPM. За сравнение са използвани резултатите от традиционните методи. Разликата между Сценарий 1 и Сценарий 2, е в промяната на предпочитанията към опциите при ключовия критерий, използван за да даде предимство на алтернативите, а също така и при определените коефициенти за важност на останалите критерии. Сценарият, използван за тестване на приложимостта на обобщения модел (Сценарий 3) се развива в условието на групово вземане на решение. Параметрите на задачата се надграждат, като се добавят още два допълнителни критерия – един матрично представен и един субективен.

4.3.2. Формулиране на задачата за числено тестване

Задача за избор на рамка за разработка на уеб приложения се оразмерява при първите два сценария със следните параметри: 6 алтернативи, 1 лице, вземащо решение, общо 3

критерия, като 2 от тях се използват за оценяване, а другия е за предимство на алтернативите и се декомпозира до 3 опции. При Сценарий 3, алтернативите се запазват, а ЛВР стават двама. Критериите стават 5, защото се цели да се покрият всички типове оценки, допустими при обобщения алгоритъм. Всички тези входни данни са обобщени в Таблица 4.9.

Таблица 4.9. Типове критерии – за оценяване и за предимство на алтернативите. Коефициенти за важност на критериите, определени от ЛВР, за трите сценария.

Критерии		Тип на критериите, спрямо предназначението и спрямо начина на формиране на оценката	Коефициенти за важност на критериите			
			Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	
			ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2
C1	Език за програмиране	За предимство на алтернативи/ Матрично представен	-	-	-	-
C2	GitHub класация	За оценяване/ Числено представен	0,60	0,27	0,26	0,10
C3	StackOverflow класация	За оценяване/ Числено представен	0,40	0,73	0,17	0,32
C4	Покритие на софтуерни слоеве	За оценяване/ Матрично представен	x	x	0,41	0,16
C5	Лекота за работа	За оценяване/ Субективен	x	x	0,16	0,42

Тъй като критериите C1 и C4 са дефинирани като матрично представени критерии, те се декомпозират до опции, както е показано в Таблица 4.10.

Таблица 4.10. Матрично представени критерии (декомпозируеми до опции), използвани за генериране на оценка или за генериране на коефициент за предимство на алтернативите.

Критерии и наличните опции		Стойности на опциите						Коефициенти / Оценъчни точки за важност на опциите				
								Сценарий 1		Сценарий 2		Сценарий 3
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2	
C1	Език за програмиране											
	O1	JavaScript	1	1	0	0	0	0	0,46	0,22	0,46	0,22
	O2	Python	0	0	1	1	0	0	0,33	0,32	0,33	0,32
	O3	PHP	0	0	0	0	1	1	0,21	0,46	0,21	0,46
C4	Покритие на софтуерни слоеве											
	O4	Потребителски интерфейс	1	1	1	1	1	1	x	x	4	5
	O5	Клиентска логика	1	1	0	0	0	0	x	x	5	2
	O6	Сървърна логика	0	0	1	1	1	1	x	x	2	3
	O7	Работа с база данни	0	0	1	0	1	1	x	x	2	1

Въз основа на обективните данни от класациите на рамките в GitHub и StackOverflow могат да бъдат формирани оценки в Сценарий 1 и Сценарий 2. При Сценарий 3, чрез изразяване на предпочитанията относно тяхната полза или вреда, се генерират съответните оценки. Данните и за двата критерия (C2 и C3), са извлечени от специализирания сайт <https://hotframeworks.com>, който прави сравнения между различни рамки за уеб разработка и са представени в Таблица 4.11.

Таблица 4.11. Числено представени критерии, стойности за алтернативите и предпочитания на ЛВР за полезността на критериите при Сценарий 3.

Критерии	Стойности за алтернативите						Cost / Benefit
	A1 React	A2 Vue.js	A3 Django	A4 Flask	A5 Laravel	A6 Symfony	
C2: GitHub класация	99	100	89	89	90	81	benefit
C3: StackOverflow класация	97	87	97	83	93	86	benefit

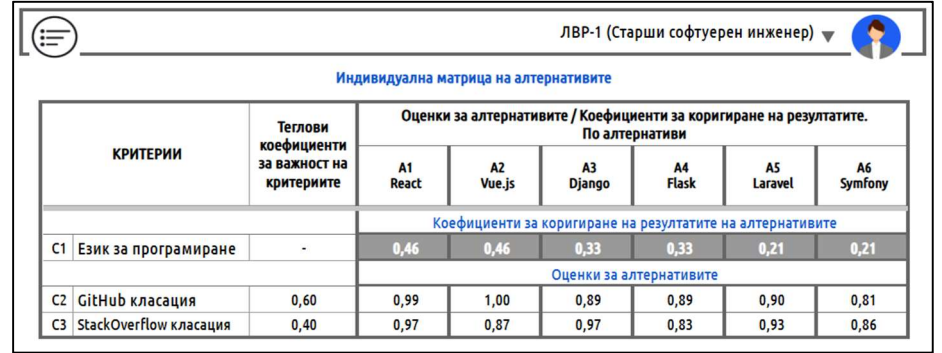
Тегловите коефициенти за компетентност, които са определени за двете лица, вземащи решение, при Сценарий 3, са показани в Таблица 4.12.

Таблица 4.12. Теглови коефициенти за компетентност на ЛВР, спрямо отделните критерии, използвани при Сценарий 3.

Критерии	Теглови коефициенти за компетентност на ЛВР	
	ЛВР-1	ЛВР-2
C1: Език за програмиране	-	-
C2: GitHub рейтинг	0,70	0,30
C3: StackOverflow рейтинг	0,45	0,55
C4: Покритие на софтуерни слоеве	0,80	0,20
C5: Лекота за работа	0,50	0,50

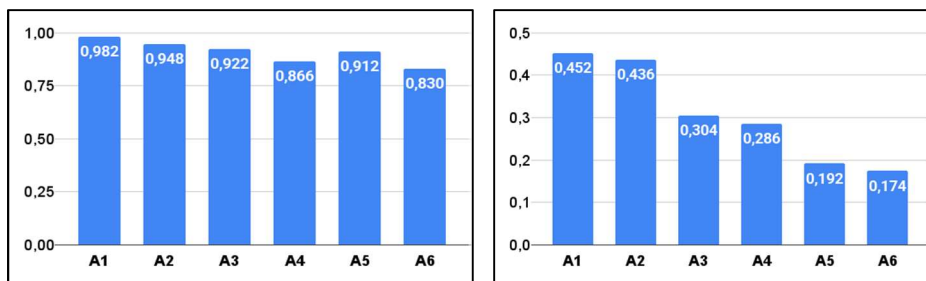
4.3.3. Резултати от численото тестване на модификацията на метода на претеглената сума

Численото тестване на модификацията, формализираща генериране на теглови коефициенти, при метода на претеглената сума (Сценарий 1), се изпълнява в прототипа на СПВР. Матрицата за индивидуално вземане на решение, върху която се провежда експеримента, е представена на Фиг. 4.23.



Фиг. 4.23. Матрица за индивидуално вземане на решение при Сценарий 1. Изглед от прототипът на СПВР.

За да се демонстрира ефектът от нововъведените коефициенти, са изчислени резултати на алтернативите спрямо критерии C2 и C3, използвайки класическия WSM (1.3). Крайното класиране при двата метода е представено на Фиг. 4.24 (а, б).



а) Класически WSM

б) Модифициран WSM

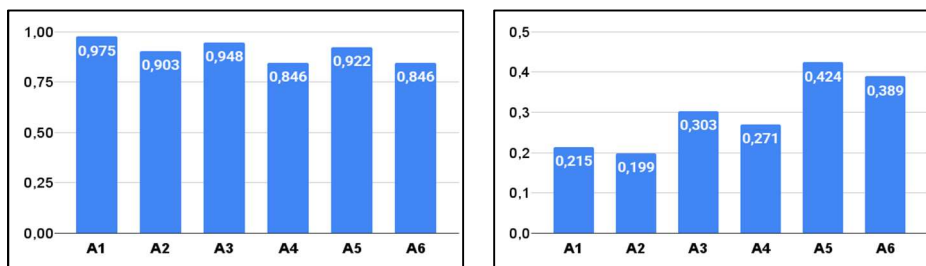
Фиг. 4.24. Класиране на рамките за уеб разработка при Сценарий 1.

При модифицираният WSM резултатите се коригират от нововъведения коефициент, който изразява по-голямото предпочитание към езика за програмиране Python, на който се базира Flask, за сметка на PHP, използван при Laravel.

4.3.4. Резултати от численото тестване на модификацията на метода на претегленото произведение

При Сценарий 2, предназначен за тестване на WPM, ЛВР е младши софтуерен инженер. Това обосновава промяна в тегловите коефициенти за важност на критериите, като се увеличава значимостта на критерия C3 – класацията на StackOverflow. Причината е, че платформата е особено полезна за начинаещи разработчици. Наред с това, се променят и предпочитанията към използвания програмен език, което води до нови стойности на ψ_i^k .

С цел да се определи влиянието на нововъведените коефициенти върху модифицирания WPM, са изчислени резултатите на алтернативите и по класическия метод на претегленото произведение (1.7). Сравнението между крайното класиране на алтернативите при двата метода е илюстрирано на Фиг. 4.26 (а, б).



а) Класически WPM

б) Модифициран WPM

Фиг. 4.26. Класиране на рамките за уеб разработка при Сценарий 2.

Наблюдава се сходство в резултатите между рамките, използващи един и същ програмен език (съответно със сходен коефициент), както и отчетливи различия при рамки, базирани на различни езици. Тези резултати потвърждават ефективността и приложимостта на модификацията и към метода на претегленото произведение.

4.3.5. Резултати от численото тестване на обобщения модел на метода на претеглената сума

Сценарий 3 има за цел да тества приложимостта на нововъведения, коефициент за предимство на алтернативите в комбинация с другите две модификации, които съставят така наречения в настоящия труд – обобщен модел на метода на претеглената сума.

Данните от попълнените индивидуални формуляри, заедно с определените от ЛВР коефициенти за важност на критериите и определените за тях коефициенти за компетентност, са структурирани в матрица за групово вземане на решение. Изглед на генерираната матрица от прототипа на СПВР е представен на Фиг. 4.29.

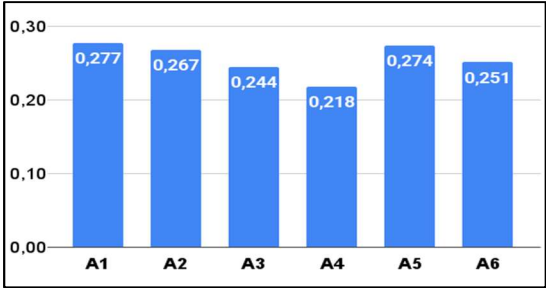
Администратор

Обобщена матрица на алтернативите

КРИТЕРИИ	Коефициенти за важност на критериите		Коефициенти за компетентност на ЛВР		Оценки за алтернативите / Коефициенти за коригиране на резултатите											
	ЛВР-1: Старши софт. инж.		ЛВР-2: Младши софт. инж.		A1 React		A2 Vue.js		A3 Django		A4 Flask		A5 Laravel		A6 Symfony	
	ЛВР-1: Старши софт. инж.	ЛВР-2: Младши софт. инж.	ЛВР-1: Старши софт. инж.	ЛВР-2: Младши софт. инж.	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2	ЛВР-1	ЛВР-2
C1 Език за програмиране	-	-	-	-	0,46	0,22	0,46	0,22	0,33	0,32	0,33	0,32	0,21	0,46	0,21	0,46
C2 GitHub класация	0,26	0,10	0,70	0,30	0,99	0,99	1,00	1,00	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,81	0,81
C3 StackOverflow класация	0,17	0,32	0,45	0,55	0,97	0,97	0,87	0,87	0,97	0,97	0,83	0,83	0,93	0,93	0,86	0,86
C4 Покритие на софтуерни слоеве	0,41	0,16	0,80	0,20	0,45	0,35	0,45	0,35	0,40	0,45	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40	0,45
C5 Лекота за работа	0,16	0,42	0,50	0,50	0,85	0,30	0,75	0,32	0,70	0,55	0,80	0,45	0,65	0,95	0,54	0,85

Фиг. 4.29. Матрица за групово вземане на решение при Сценарий 3. Изглед от прототипът на система за подпомагане вземането на решения.

Класирането на алтернативите след прилагане на обобщения модел (3.3), е показано на Фиг. 4.30.



Фиг. 4.30. Класиране на рамките за уеб разработка при Сценарий 3.

При групово вземане на решение, ефектът от коригиращите коефициенти може да се балансира от противоположни предпочитания между ЛВР. Въпреки това, включването на модификацията, отчитаща компетентността по критерии, позволява да се отрази по-голяма тежест на мнението на по-компетентните ЛВР, което в крайна сметка влияе на финалното решение.

Комбинирането на всички предложени модификации в един обобщен алгоритъм е както възможно, така и успешно. Причината за това е, че всяка модификация засяга различни стъпки от алгоритъма и не въвежда математически ограничения, които да възпрепятстват прилагането на останалите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ – РЕЗЮМЕ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Благодарение на цифровизацията, днес повече от всякога до сега, е възможно да се използва разнообразие от множество данни. За формирането на информирано решение е необходимо тези данни да се обработят по подходящ начин, за да може да получим структурирана информация, на база на която да се вземе най-подходящото решение. В тази връзка, настоящото изследване е насочено към методите и моделите за вземане на решение, вкл. формирането на групово решение.

Обекти на изследване в настоящия дисертационен труд са метода на претеглената сума, метода на претегленото произведение и софтуерните архитектури, с които те могат да бъдат интегрирани в система за подпомагане вземането на решение. Двата метода са едни от най-популярните и фундаментални представители на оценъчните методи в многокритериалното вземане на решения. С течение на времето те, са били развивани чрез различни модификации. Тяхната еволюция показва, че не са забравени статични методи, а динамично се адаптират към нови практически потребности. В резултат на това стават все по-гъвкави, широко приложими и подходящи да се интегрират в системи за подпомагане вземането на решение. Като софтуерен инструмент за рационално вземане на решение, СПВР следва да се проектира вземайки предвид функционалните изисквания наложени от алгоритмите и математическите модели. Софтуерната архитектура се определя от съчетаването на различни стилове и шаблони в съответствие с нефункционалните изисквания на организацията, като инфраструктурни възможности, технологичния опит на екипа, очакван мащаб на използване на системата и други.

В настоящия дисертационен труд са описани предложени модификации на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение. Първата модификация въвежда коефициенти за компетентност на ЛВР за всеки критерии поотделно и така прецизирана влиянието на ЛВР при групово вземане на решение. Втората модификация формализира генерирането на оценки като съчетава предпочитанията на ЛВР с обективни данни и така редуцира субективността и улеснява ЛВР при оценяването на алтернативите. Третата модификация въвежда генерирането на нов тип коефициенти, чрез които може да се постигне потискане или усилване на агрегираните резултати на алтернативите и по този начин се удовлетворяват критични изисквания на задачата. Резултатите от проведените експерименти потвърждават, че всички предложени модификации могат да се комбинират успешно, за метода на претеглената сума, в един обобщен алгоритъм. Различните

комбинации между модификациите позволяват резултатите да се агрегират по един от 13 различни модела – 9 с метода на претеглената сума и 4 с метода на претегленото произведение.

Предложени и проектирани са две различни архитектури на СПВР, удовлетворяващи противоречиви нефункционални изисквания на системата. Предложената трислойна архитектура, следва класическия трислоен архитектурен шаблон. Избрано е да се следва монолитен архитектурен стил със синхронно управляван поток на събитията. Подходяща е за организации, които разполагат със собствена сървърна инфраструктура. Предложената безсървърна архитектура използва архитектурния шаблон на разпределени функции с асинхронно управление на потока на събитията. Благодарение на това се постига висока мащабируемост, минимална необходимост от управление на инфраструктура, както и много висока адаптивност към динамични натоварвания. Всичко това прави безсървърната архитектура подходяща за организации, които разчитат на облачни услуги и трябва да обслужва голям брой потребители, например корпоративни или публични. Въз основа на предложените и проектирани архитектури, са разработени прототипи на СПВР, с които да се тества приложимостта както на предложените модификации, така и на самите архитектури. Прототипите предоставят централизирано управление на данни, достъпност от всяка точка, автоматизиране на рутинни операции и модул за линеен анализ на междинните резултати.

На база на получените резултати от проведеното тестване както на предложените модификации, така и на предложените архитектури за реализиране на моделите за подпомагане вземането на решения, може еднозначно да се установи тяхната практическа приложимост, чрез решаването на конкретни реални задачи.

Като бъдещо развитие на изследванията, свързани с модификациите на методите за вземане на решение се планират следните дейности: (1) търсене на решение за преодоляване на ограничението за прилагане на модификацията, формализираща генериране на оценки за алтернативите към метода на претегленото произведение; (2) комбиниране на всички модификации и за двата метода; (3) адаптиране на предложените модификации към други подобни методи за вземане на решение.

Планираните дейности за бъдещото развитие на разработените прототипи на СПВР са свързани с: (1) разработването им като напълно функциониращо приложение с академични цели като експерименти, демонстрации и обучение; (2) реализиране или интегриране с външна услуга за надграждане на мрежовата сигурност с оторизация и отчетност (AAA, Authentication, Authorization, Accounting); (3) интегриране на агенти с изкуствен интелект като виртуален експерт и автоматизиране на част от административните задачи чрез него.

Резултатите от представеното изследване са докладвани на 4 международни конференции. По-голяма част от резултати са публикувани в общо 5 научни публикации, като 1 от тях е в международно научно списание. Всичките 5 публикации са реферирани и индексирани в световноизвестна база данни с научна информация Scopus, като 3 от тях са в издания с SJR.

ПРИНОСИ

Въз основа на получените резултати, могат да се формулират следните приноси:

- 1) Предложена е модификация на алгоритъма и математическите модели на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение в условията на групово вземане на решение. Модификацията отчита различните области на компетентност на ЛВР, чрез въвеждане на теглови коефициенти за компетентност на ЛВР спрямо всеки отделен критерий.
- 2) Предложена е модификация на алгоритъма за реализиране на метода на претеглената сума, формализираща генериране на оценки за алтернативите. Вместо субективно определяне на оценките се въвежда механизъм за съчетаване на обективни данни за алтернативите с предпочитанията на ЛВР, чрез декомпозиране на критерии до опции. Модификацията е валидна за групово и индивидуално вземане на решение.
- 3) Предложена е модификация на алгоритъма и математическите модели на метода на претеглената сума и на метода на претегленото произведение, формализираща генериране на коефициенти, даващи предимство в общото представяне на алтернативите. Коефициентите се генерират спрямо ключови критерии, използвайки същия механизъм за декомпозиране на критериите до опции и съчетаване на обективни данни за алтернативите с предпочитанията на ЛВР. Модификацията е валидна за групово и индивидуално вземане на решение.
- 4) Предложен е обобщен алгоритъм и комбинирани математически модели, съчетаващи предложените модификации на двата метода. Различните комбинации позволяват резултатите да се агрегират чрез 13 различни модела – 9 с метода на претеглената сума и 4 с метода на претегленото произведение.
- 5) Предложени са две софтуерни архитектури (трислойна и безсъвървна) за реализиране на система за подпомагане вземането на решения, удовлетворяващи различни нефункционални изисквания. Двете архитектури демонстрират различни архитектурни стилове за реализиране на предложените обобщен алгоритъм и комбинираните математически модели на модифицираните метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение.
- 6) Разработени са два прототипа на система за подпомагане вземането на решения в съответствие с предложените софтуерни архитектури, като включват и модул за

интерпретация на резултатите. Прототипите са използвани за числено тестване на предложените модификации на метода на претеглената сума и метода на претегленото произведение, като убедително демонстрират тяхната приложимост.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Dimitrova, Z.,** Borissova, D., & Dimitrov, V. (2024, a). Web application based on serverless architecture to support group decision-making by scoring models. In: *Proceedings of the 2024 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems*, 365-369, E-ISBN: 979-8-3503-5286-3; USB ISBN: 979-8-3503-5285-6; PoD ISBN: 979-8-3503-5287-0. <https://doi.org/10.1109/CIEES62939.2024.10811190> (Scopus)
2. **Dimitrova, Z.,** Borissova, D., & Dimitrov, V. (2024, 6). A methodology for alternatives ranking by estimations forming based on values from criteria decomposition into options. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 21, 2136-2144, Print ISSN: 1109-9526, E-ISSN: 2224-2899. <http://dx.doi.org/10.37394/23207.2024.21.176> (**SJR 2024 = 0.192, Q4**) (Scopus)
3. **Dimitrova, Z.,** Borissova, D., Mikhov, R., & Dimitrov, V. (2023). Group decision-making involving competence of experts in relation to evaluation criteria: Case study for e-commerce platform selection. In: *Modelling and Development of Intelligent Systems* (Simian, D., Stoica, L.F., eds.), 42–53. Communications in Computer and Information Science, 1761, Springer, Cham, Print ISBN: 978-3-031-27033-8; Online ISBN: 978-3-031-27034-5. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27034-5_3 (**SJR 2023= 0.203 Q4**) (Scopus)
4. **Dimitrova Z.,** Borissova D., & Dimitrov V. (2021). Design of Web Application with Dynamic Generation of Forms for Group Decision-Making. In: *Computer Information Systems and Industrial Management* (Saeed K., Dvorsky J., eds.), 112-123. Lecture Notes in Computer Science, 12883, Springer, Cham, Print ISBN: 978-3-030-84339-7; Online ISBN: 978-3-030-84340-3. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84340-3_9 (**SJR 2021= 0.407 Q2**) (Scopus)
5. Borissova, D., **Dimitrova, Z.,** Dimitrov, V., Yoshinov, R., Garvanova, M., & Garvanov, I. (2021). Multi-attribute decision-making model for ranking of web development frameworks. In: 25th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers, 3-8, E-ISBN: 978-1-6654-2749-4; (PoD) ISBN: 978-1-6654-2750-0. <https://doi.org/10.1109/CSCC53858.2021.00009> (Scopus)

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Amini, A., Abdollahi, A. & Hariri-Ardebili, M.A (2024). An automated machine-learning-assisted stochastic-fuzzy multi-criteria decision making tool: Addressing record-to-record variability in seismic design, *Applied Soft Computing*, 154, 111354. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111354>
2. Arnott, D. & Pervan, G. (2014). A Critical Analysis of Decision Support Systems Research Revisited: The Rise of Design Science. *Journal of Information Technology*, 29(4), 269-293. <http://dx.doi.org/10.1057/jit.2014.16>
3. Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. & Sorenson, K. (2001). Guidebook to Decision-Making Methods, Department of Energy, USA.
4. Borissova, D., Korsemov, D. & Mustakero, I. (2018). Multi-attribute group decision making considering difference in experts knowledge: An Excel application. In *Proc. 12th Int. Management Conference – Management Perspectives in the Digital Era*, 387-395. https://conference.management.ase.ro/archives/2018/pdf/3_1.pdf
5. Bozorg-Haddad, O., Loáiciga, H., & Zolghadr-Asli, B. (2021). Simple Weighting Methods: Weighted Sum and Weighted Product Methods. In: *A handbook on Multi-Attribute Decision-Making Methods*. Wiley & Sons Publication Inc., 17-24. <https://doi.org/10.1002/9781119563501>
6. Churchman, C. W., & Ackoff, R. L. (1954). An approximate measure of value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 172–187. <https://doi.org/10.1287/opre.2.2.172>
7. Cinelli, M., Kadzinski, M., Miebs, G., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2022). Recommending Multiple Criteria Decision Analysis Methods with A New Taxonomy-based Decision Support System. *European Journal of Operational Research*, 302(2). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.011>
8. Garlan, D., & Shaw, M. (1994). An Introduction to Software Architecture. *School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA*. https://userweb.cs.txstate.edu/~rp31/papers/intro_softarch.pdf
9. Greco, S., Słowiński, R. & Wallenius, J. (2025). Fifty years of multiple criteria decision analysis: From classical methods to robust ordinal regression. *European Journal of Operational Research*, 323(2), 351-377. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.07.038>
10. Keeney, R. L., & Gregory, R. S. (2005). Selecting attributes to measure the achievement of objectives. *Operations Research*, 53(1), 1–11. <https://doi.org/10.1287/opre.1040.0158>
11. Khan, Sh., Chaabane & Dweiri, A.F. (2018). Multi-Criteria Decision-Making Methods Application in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management Publisher: Intechopen*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74067>
12. Magabaleh, A., Ghraibeh, L., Audeh, A., Albahri, A. S., Deveci, M. & Antucheviciene, J. (2024). Systematic review of software engineering uses of multi-criteria decision-making methods: Trends, bibliographic analysis, challenges, recommendations, and future directions. *Applied Soft Computing*, 163, 111859. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.111859>

13. Nasr, A., Johansson, J., Ivanov, O., Björnsson, I. & Honfi, D. (2022). Risk-based multi-criteria decision analysis method for considering the effects of climate change on bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 19(13). <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2022.2033278>
14. Perry, D. E., & Wolf, A. L. (1992). Foundations for the study of software architecture. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 17(4), 40. <https://doi.org/10.1145%2F141874.141884>
15. Petković, D. L., Madić, M. J., & Mitković, M. M. (2025). Development of a Decision Support System for Biomaterial Selection Based on MCDM Methods. *Applied Sciences*, 15(16), 9198. <https://doi.org/10.3390/app15169198>
16. Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Engineering Economics*, 22. 134-146. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
17. Richards, M., & Ford, N. (2020). Fundamentals of Software Architecture. An Engineering Approach. *O'Reilly Media*.
18. Taherdoost, H. (2023). Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a MultiAttribute Decision-Making Technique: A Step-by-Step Guide. *Journal of Management Science & Engineering Research*, (6)1, 21-24. <http://dx.doi.org/10.30564/jmser.v6i1.5400>
19. Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
20. Tofallis, C. (2014). Add or Multiply? A Tutorial on Ranking and Choosing with Multiple Criteria. *INFORMS Transactions on Education*, 14(3), 109-119. <https://doi.org/10.1287/ited.2013.0124>
21. Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1989). An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. *Decision Support Systems*, 5(3), 303–312. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(89\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0167-9236(89)90037-7)