



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

СЕКЦИЯ “ИНФОРМАЦИОННИ ПРОЦЕСИ И СИСТЕМИ ЗА ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ”

Дилян Чавдаров Корсемов

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМИ ЗА ПОДПОМАГАНЕ НА ГРУПОВО ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователната и научна степен „доктор“

по докторска програма “Приложение на принципите и методите на
кибернетиката в различни области на науката (техническа)”

професионално направление

5.2. “Електротехника, електроника и автоматика”

Научен ръководител:

проф. д.н. Даниела Борисова

София, 2019 г.

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 14.06.2019 г.

Дисертационният труд е структуриран в увод, изложение от три глави, заключение, декларация за оригиналност на резултатите, списък на публикациите по дисертационния труд, забелязани цитирания и библиография. Дисертационният труд е в обем от 121 страници, 21 фигури и 22 таблици, 136 цитирани литературни източника.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2019 г. от часа в зала на на открито заседание на научно жури в състав:

1.,
2.,
3.,
4.,
5.,

Резервни членове:

1.,
2.

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 25А, стая 215.

Автор: **Дилян Чавдаров Корсемов**

Заглавие: **Модели и алгоритми за подпомагане на групово вземане на решения**

Увод

Днес в много области се налага вземането на групови решения. Въпреки, че понятието “вземане на решение” има широк смисъл, то може да се илюстрира като избор на алтернатива от множество налични алтернативи. При мениджмънта на организациите, необходимостта от вземане на решения възниква на различни управленски нива. Поради глобализацията, водеща до растящата конкуренция, днес е трудно да се вземат успешни решения без съдействието на експерти от различни области. Всеки от тези експерти трябва да има доказани способности да предоставя убедителна информация за оценките си относно съществуващите алтернативни решения, по отношение на определени критерии. Същността на процеса на вземане на решение чрез избор на алтернатива, включваща различни количествени и качествени критерии, го определя като нетривиален и комплексен многокритериален проблем. Поради това, целта на всяка система за подпомагане вземането на решения е да се базира на добре обосновани модели и алгоритми, водещи до оптимален избор на алтернатива от множество зададени алтернативи.

Едно от научните направления, разглеждащо законите на получаване, съхраняване, обработване и предаване на информацията е кибернетиката. Това направление не е загубило своята актуалност в условията на постоянно развиващите се информационни технологии и има широко приложение в различни научни и научно-приложни области. В тази връзка, провеждането на научни изследвания, свързани с разработването на модели и алгоритми за анализ на информацията, с цел подпомагане на вземането на решения и в частност, на груповото вземане на решения, е актуално научноизследователско направление. Една перспективна тенденция в това направление е използването на математически методи за подпомагане вземането на добре обосновани решения. Това определя и обекта на изследванията в настоящия дисертационен труд, като разработване на математически обосновани модели и алгоритми за подпомагане на груповото вземане на решения.

Дисертационният труд е структуриран в увод, 3 глави, заключение, приноси, списък на публикациите, декларация за оригиналност и библиография.

В Глава 1 е направен обзор, свързан с процеса на вземане на решение, анализ на съществуващите техники, модели и методи за подпомагане на процеса при групово вземане на решения. Определени са

перспективни изследователски направления, целта на дисертационния труд и задачите за реализирането ѝ.

В Глава 2 са описани предложените модели за подпомагане на груповото вземане на решения и алгоритмите за тяхното прилагане, а именно – модифициран модел на претеглената сума, модифициран модел на претегленото произведение и модифициран модел, базиран на SMART метода. За всеки от предложените модифицирани модели за подпомагане на груповото вземане на решения, са предложени и съответни алгоритми за реализация. Предложен е също и обобщен алгоритъм, реализиращ три различни стратегии – за избор на една алтернатива, за избор на няколко алтернативи, или подредба на всички алтернативи по степента на тяхната предпочитаност. Предложени са и модели за избор на алтернатива/и в условията на неопределеност, базирани се на принципите на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж.

В Глава 3 са описани проведените числени експерименти на предложените модифицирани модели за групово вземане на решения и алгоритмите за тяхното прилагане. Представени са резултати от числените експерименти, доказващи практическата приложимост на предложените модификации на модела на претеглената сума, модела на претегленото произведение и модела, базиран на SMART метода, за избор на алтернатива/и в условията на групово вземане на решения. Описани са и числените експерименти с използване на предложения алгоритъм за групово вземане на решения с три различни стратегии. Представени са резултати от численото тестване, доказващи практическа приложимост моделите за групово вземане на решения в условията на неопределеност, използващи критериите на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж.

В заключението са посочени насоки за бъдещи изследвания, свързани с областта на подпомагането на груповото вземане на решения.

Номерирането на формулите, таблиците и фигурите в автореферата е идентично с това в дисертационния труд.

Глава 1: Анализ на техниките и моделите за подпомагане на групово вземане на решения

В тази глава е представен анализ на техниките и моделите за подпомагане на групово вземане на решения. Описани са най-често използваните техники за групово вземане на решения като мозъчна атака, номинална техника, Делфи техника, “адвокат на дявола”, и дидактическо взаимодействие. Представена е общата постановка на задачата за вземане на решения при много атрибути. Направен е анализ на моделите за решаване на подобни задачи – модел на претеглената сума; модел на SMART; модел на претегленото произведение; аналитичен йерархичен процес; аналитичен мрежови процес; модел на TOPSIS и VIKOR; аутранкиращи методи ELECTRE и PROMETHEE, и интерактивни методи. Представени са критериите за вземане на решения в условия на неопределеност, базирани на принципите на Валд, Сейвидж, Лаплас и Хурвиц.

В резултат на направения обзор по тематика е определена основната цел на дисертационния труд, а именно: да се предложат математически модели за подпомагане на груповото вземане на решения и алгоритми за тяхната реализация, като се вземе предвид различията в експертизата на членовете на групата. За реализиране на тази цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- да се направи анализ на съществуващите модели и техники за групово вземане на решения;
- да се предложат модели за групово вземане на решения и алгоритми за тяхната реализация, отчитайки експертизата на всеки член от групата, като се използват 1) модела на претеглената сума, 2) модела на претегленото произведение и 3) модела на SMART;
- да се предложи обобщен алгоритъм за групово вземане на решения, интегриращ различни стратегии – за избор на една най-добра алтернатива, за избор на няколко добри алтернативи, за класиране на всички алтернативи;
- да се предложат модели за групово вземане на решения, в условията на неопределеност, като се използват критериите на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж.

Методологията на изследванията включва освен разработването на адекватни математически модели и алгоритми, така и оценка на тяхната ефективност и практическа приложимост, чрез числено тестване на базата на данни за реални проблеми.

Глава 2: Модели и алгоритми за подпомагане на групово вземане на решения с отчитане различията в експертизата на членовете на групата

Днес в много и различни области се налага вземането на различни решения, вкл. и групи, възникващи на различни управленски нива – оперативно, тактическо, стратегическо и т.н. [Curtis, 2008]. Методите, базирани на теорията за многоатрибутната полезност намират приложение при решаване на задачите за вземане на решение, при които изборът се прави от определени алтернативи, описани чрез техните атрибути [Mardani и др., 2015]. Тези методи се използват в широк кръг приложни области – енергия, околна среда и устойчивост, управление на доставки, управление на качеството, строителство и управление на проекти, безопасност и управление на риска, производствени системи, управление на информационните технологии, стратегическо управление, управление на туризма и т.н. [Mardani и др., 2015; Marttunen и др., 2017].

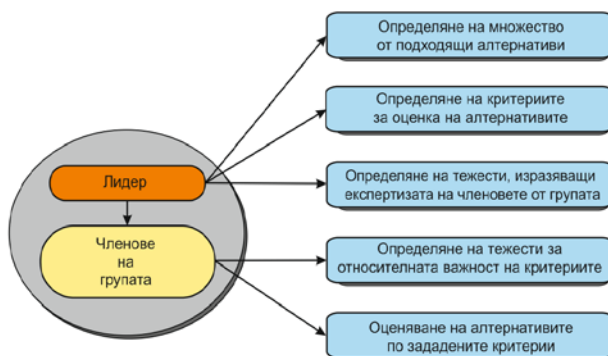
В настоящия дисертационен труд се предлага модификация на структурата на матрицата на алтернативите, отчитайки различията в експертизата на членовете на групата е, като е показано в Таблица 2.1.

Таблица 2.1. Модифицирана структура на матрицата на алтернативите за целите на групово вземане на решения

Група от експерти	Тегла за експертите	Алтернативи, A_i	Управляващи променливи, x_i	Критерии/тегла/оценки			
				C_1	C_2		C_n
E^1	λ^1			w_1^1	w_2^1		w_n^1
		A_1	x_1	e_{11}^1	e_{12}^1		e_{1n}^1
		A_2	x_2	e_{21}^1	e_{22}^1		e_{2n}^1
		A_3	x_3	e_{31}^1	e_{32}^1		e_{3n}^1
				...	...	...	...
		A_m	x_m	e_{m1}^1	e_{m2}^1		e_{mn}^1
....				...	...	...	...
E^k	λ^k			w_1^k	w_2^k		w_n^k
		A_1	x_1	e_{11}^k	e_{12}^k		e_{1n}^k
		A_2	x_2	e_{21}^k	e_{22}^k		e_{2n}^k
		A_3	x_3	e_{31}^k	e_{32}^k		e_{3n}^k
				...	...	...	...
		A_m	x_m	e_{m1}^k	e_{m2}^k		e_{mn}^k

Модификацията се изразява в разширяване структурата на матрицата чрез добавяне на група от експерти, компетентни за оценка на всеки от критериите. За всеки член от групата се въвеждат съответни теглови коефициенти, отразяващи компетентността и опита, във връзка с решавания проблем. В модифицираната матрица участват и двоични целочислени променливи за избор на най-предпочитаната алтернатива [Borissova и др., 2016]. Използваните означения са като следва: m – брой на алтернативите, n – брой на критериите (атрибутите), k – брой на експертите в групата. Множеството на алтернативите е означено чрез $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, а множество на критериите е $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, групата от експерти, включена в процеса на оценяване е представена чрез множеството $E = \{E^1, E^2, \dots, E^k\}$. Тегловите коефициенти за експертната на всеки член на групата са изразени чрез множеството $\Lambda = \{\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^k\}$. Оценките на съответните алтернативи A_i по зададените критерии C_j от q -ия експерт са изразени чрез e_{ij}^q , където $0 \leq e_{ij}^q \leq 1$. Тегловите коефициенти, изразяващи относителната важност на j -ия критерий, съгласно гледната точка на q -ия експерт се представя чрез w_j^q . Изборът на най-предпочитаната алтернатива се извършва с помощта на целочислените двоични променливи, присвоени на алтернативите, участващи в избора x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, M$).

Разпределението на отговорностите в групата при реализирането на процеса на груповото вземане на решение е показано на Фиг. 2.1 [Korsemov и др., 2018]:



Фиг. 2.1. Разпределение на отговорностите в групата

При формирането на групата от експерти се предполага, че всички експерти са способни да направят оценка по всички критерии на алтернативи. Освен това, съществува лидер, който ръководи процеса на груповото вземане на решение и отговаря за: 1) организирането на процеса на вземане на решения, 2) определянето на възможните алтернативи, 3) определяне на атрибутите (критериите), по които ще се оценяват алтернативите и 4) определя тегла за експертите, спрямо техните компетенции и опит. Това е лице на отговорна управленска позиция, което

може да предложи окончателното групово решение на по-високо ниво на управление или има право сам да вземе крайното решение.

2.1. Модифициран модел на претеглената сума при групово вземане на решение

2.1.1. Модифициран математически модел

Като се използва модифицираната структура на матрицата от Таблица 2.1, е предложен следния модифициран модел на претеглената сума за групово вземане на решение, отчитащ различията в степента на знанията и опита на експертите от групата [Korsemov & Borissova, 2018]:

$$(2.1) \quad \text{maximize} \left(\sum_{i=1}^M x_i \sum_{k=1}^K \lambda^k A_i^k \right)$$

при ограничения

$$(2.2) \quad \forall i = 1, 2, \dots, M : (\forall k = 1, 2, \dots, K : A_i^k = \sum_{j=1}^N w_j^k e_{i,j}^k)$$

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

$$(2.4) \quad \sum_{i=1}^M x_i = 1, x_i \in \{0, 1\}$$

$$(2.5) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

Нормализираните оценки на алтернативите, спрямо критериите трябва да имат безразмерни стойности между 0 и 1, като по-големите стойности съответстват на по-добро представяне. За целта се използват следните схеми за нормализация на оценките e_{ij} [Zavadskas и др., 2012]:

- за критериите, които се максимизират:

$$(2.6a) \quad e_{ij}^* = e_{ij} (e_{ij}^{\max})^{-1}$$

- за критериите, които се минимизират:

$$(2.6b) \quad e_{ij}^* = e_{ij}^{\min} (e_{ij})^{-1}$$

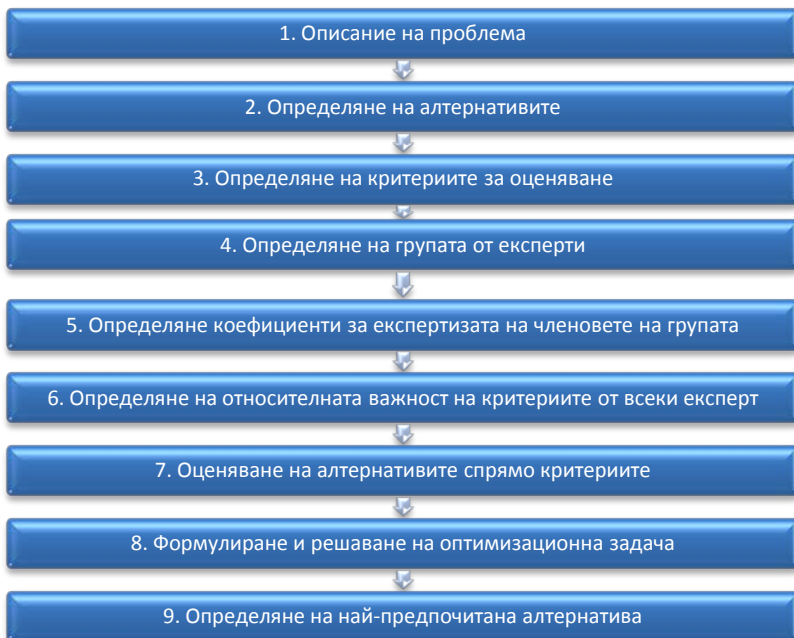
Ограничението (2.4) за избор на единствена алтернатива може да бъде променено във вида:

$$(2.7) \quad \sum_{i=1}^M x_i = z, x_i \in \{0, 1\} \text{ и } 1 < z < M$$

където константата z представлява число в интервала $(2, M-1)$.

2.1.2. Алгоритъм за прилагане на модифицирания модел на претеглената сума при групово вземане на решение

Предложен е алгоритъм за реализиране на модифицирания модел на претеглената сума (2.1) – (2.6), при групово вземане на решения (Фиг. 2.2).



Фиг. 2.2. Алгоритъм за прилагане на модифицирания модел на претеглената сума за групово вземане на решение

Първите 5 етапа от алгоритъма се изпълняват от лидера на групата, докато етапи 6 и 7 се изпълняват от членовете на групата. Етапи 8 и 9 се възлагат на ИТ специалисти за формулиране и решаване на оптимизационната задача. Полученото решение определя най-предпочитаната алтернатива, съобразно мненията на всички експерти.

2.2. Модифициран модел на претегленото произведение при групово вземане на решение

2.2.1. Модифициран математически модел

Предложеният модифициран модел на претегленото произведение за групово вземане на решение с отчитане на експертизата членовете от групата има вида [Korsemov & Borissova, 2018]:

$$(2.8) \quad \text{maximize} \sum_{i=1}^M x_i \sum_{k=1}^K \lambda^k R(A_i)^k$$

при ограничения

$$(2.9) \quad \forall i = 1, 2, \dots, M : (\forall k = 1, 2, \dots, K : R(A_i)^k = \prod_{j=1}^N (e_{ij}^k)^{w_j^k}$$

$$(2.10) \quad \sum_{j=1}^N w_j^k = 1, \forall k = 1, 2, \dots, K$$

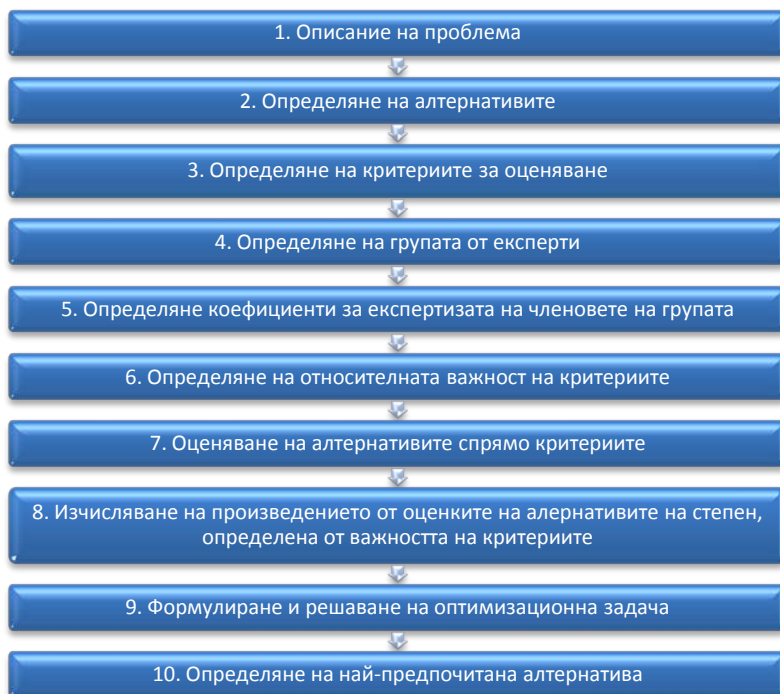
$$(2.11) \quad \sum_{i=1}^M x_i = 1, x_i \in \{0, 1\}$$

$$(2.12) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1,$$

Ограничението (2.11) може да се трансформира до избор на няколко алтернативи.

2.2.2. Алгоритъм за прилагане на модифицирания модел на претегленото произведение при групово вземане на решение

Алгоритъмът за реализация на модифицирания модел на претегленото произведение при групово вземане на решение е показан на Фиг. 2.3.



Фиг. 2.3. Алгоритъм за прилагане на модифицирания модел на претегленото произведение за групово вземане на решение

За разлика от Фиг. 2.2, тук се въвежда допълнителен етап за изчисляване на произведението от оценките на алтернативите (на етап 7) и

зададените теглови коефициенти (на етап 6). С получените данни се съставя модифицирана матрицата (Таблица 2.1), на база на която да се формулира оптимизационна задача (2.8) – (2.12).

2.3. Модифициран модел на SMART при групово вземане на решение

2.3.1. Модифициран математически модел

Предложеният модифициран модел на SMART за групово вземане на решение има следния вид:

$$(2.13) \quad \text{maximize} \quad \left(\sum_{i=1}^M x_i \sum_{k=1}^K \lambda^k A_i^k \right)$$

при ограничения

$$(2.14) \quad \forall i = 1, 2, \dots, M : (\forall k = 1, 2, \dots, K : A_i^k = \sum_{j=1}^N (w_j^k)^* e_{i,j}^k)$$

$$(2.15) \quad (w_j^k)^* = w_j^k \left(\sum_{j=1}^N w_j^k \right)^{-1}$$

$$(2.16) \quad \sum_{i=1}^M x_i = 1, \quad x_i \in \{0,1\}$$

$$(2.17) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

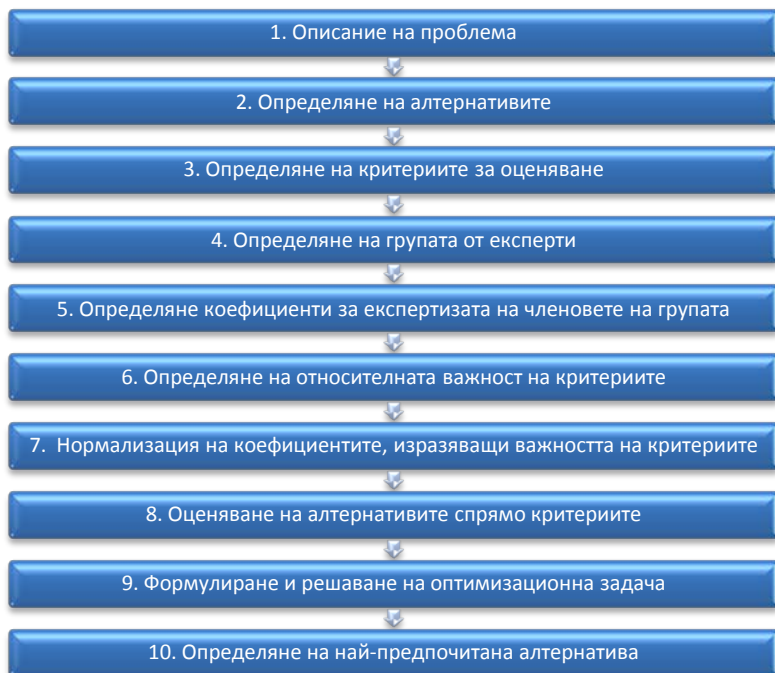
Ако ограничението (2.13) за избор на една алтернатива се замени с ограничението (2.7), то предложеният модел се трансформира до модел за групов избор на няколко предпочитани алтернативи.

2.3.2. Алгоритъм за прилагане на модифицирания модел на SMART при групово вземане на решение

Предложеният алгоритъм за реализация на модифицирания модел на SMART за избор на алтернатива при групово вземане на решение е показан на Фиг. 2.4.

Първите шест етапа от алгоритъма за реализиране на модифицирания модел на SMART за групово вземане на решение, са аналогични с етапите на описаните по-горе алгоритми (Фиг. 2.2 и Фиг. 2.3). На етап 7 се извършва нормализация на тегловите коефициентите, изразяващи относителната важност на критериите, като сумата им да е равна на 1. С получените данни се съставя модифицираната матрицата и се формулира съответна оптимизационна задача.

Дейностите за реализиране на първите 5 етапа от алгоритъма се изпълняват от лидера, докато етапи 6, 7 и 8 се изпълняват от членовете на групата. Етапите 9 и 10 се възлагат на ИТ специалисти за формулиране и решаване на оптимизационната задача, чието решение определя най-предпочитаната алтернатива, съобразно мненията на всички експерти.



Фиг. 2.4. Алгоритъм за прилагане на модифицирания математически модел на SMART за групово вземане

2.4. Обобщен алгоритъм и модели за групово вземане на решения с интегрирани различни стратегии

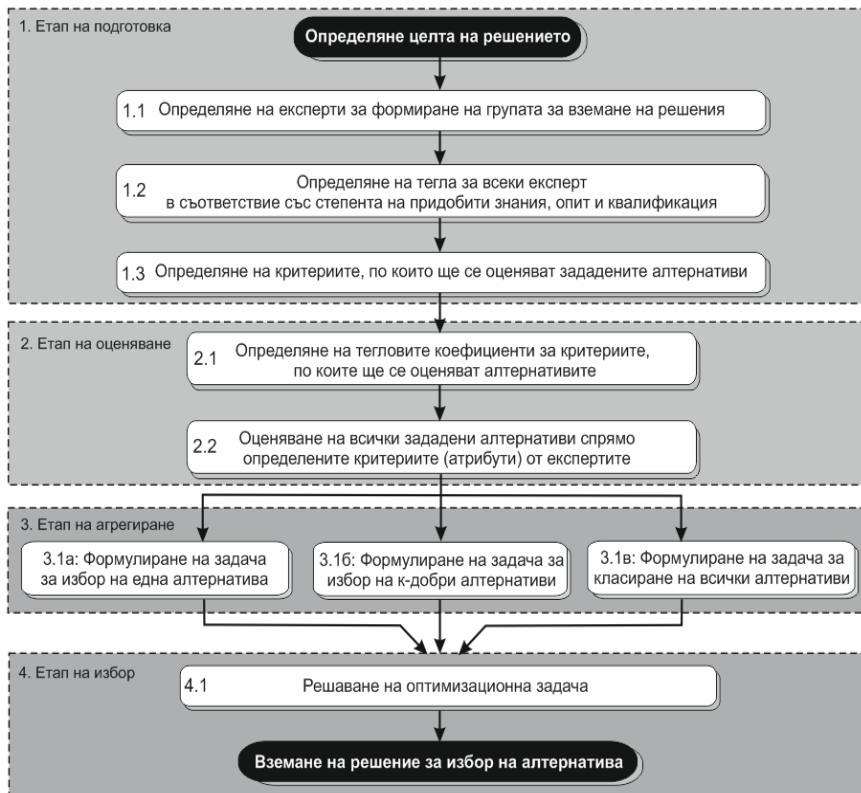
2.4.1. Обобщен алгоритъм за избор на една най-добра алтернатива, за избор на няколко алтернативи, или за класиране на алтернативите

Предложеният алгоритъм с три различни стратегии за вземане на групови решения е показан на Фиг. 2.6 и е съставен от 4 етапа.

1 – етап на подготовка. Този етап започва с определяне на основната цел на груповото вземане на решения и включва 3 допълнителни стъпки: 1) избор на подходящи експерти за формиране на групата за вземане на решения; 2) определяне на тегла за всеки експерт от групата в съответствие със степента на знанията, опита и квалификацията; 3) определяне на критериите, по които ще се оценяват зададените алтернативи. Теглата за важността на оценките на експертизата на членовете от групата се определят в интервала от 0 до 1, където 1 означава най-квалифицираното и доверено ниво на експертизата на съответния експерт.

2 – етап на оценяване. Вторият етап се състои от две стъпки: 1) определяне на тегловите коефициенти за критериите, по които ще се оценяват алтернативите; 2) оценяване на всички зададени алтернативи

спрямо определените критерии (атрибути) от експертите в групата. Теглата на критериите отразяват относителна важност на критериите и зависят от възприятието на експерта. Оценката на алтернативите се извършва чрез оценяване в интервала от 0 до 1, като по-високата стойност означава по-добро представяне на алтернативата спрямо критерия.



Фиг. 2.6. Алгоритъм за групово вземане на решения с три различни стратегии

3 – етап на агрегиране. Третият етап от предложения алгоритъм е *етапът на агрегиране*, който води до определяне на груповото решение. В предложения алгоритъм са предложени три вида стратегии: 1) за избор на една единствена алтернатива; 2) за определяне на k -добри алтернативи; 3) за класиране (ранкиране) на всички алтернативи по степента на тяхната ефективност за решаване на конкретния проблем. И трите стратегии се реализират чрез формулиране и решаване на съответни оптимизационни задачи, чиито решения определят изисквания краен резултат.

2.4.2. Математически модел за избор на една единствена най-добра алтернатива

При този сценарий се определя само една алтернатива, чрез използване на следния математически модел:

$$(2.18) \quad \text{maximize} \left(\sum_{i=1}^M x_i \sum_{k=1}^K \lambda^k A_i^k \right)$$

при ограничения

$$(2.19) \quad \forall i = 1, 2, \dots, M : (\forall k = 1, 2, \dots, K : A_i^k = \sum_{j=1}^N w_j^k e_{i,j}^k)$$

$$(2.20) \quad \sum_{j=1}^N w_j^k = 1$$

$$(2.21) \quad \sum_{i=1}^M x_i = 1, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

$$(2.22) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

2.4.3. Математически модел за избор на k-добри алтернативи

Вторият сценарий илюстрира определенето на няколко (повече от една) подходящи алтернативи. Това се реализира чрез модифициране на формулирания по-горе оптимизационен модел, в който ограничението (2.21) се заменя от следното представяне:

$$(2.23) \quad \sum_{i=1}^M x_i = z, \quad x_i \in \{0, 1\}, \quad 1 < z < M$$

където z е цяло число, по-голямо от 1 и по-малко от броя на алтернативите.

2.4.4. Математически модел за класиране на всички алтернативи

Третият сценарий на предложения алгоритъм за групово вземане на решения дава възможност за класиране (ранкиране на всички алтернативи). Това се постига чрез последователно решаване на задачи от типа (2.18) – (2.22).

4 – етап на основния алгоритъм за избор. Етапът на избор на основния алгоритъм включва две основни стъпки – решаване на оптимизационна задача и вземане на решение за избор на алтернатива. Решаването на оптимизационната задача е свързано с изборът на конкретна стратегия – определяне на една единствена алтернатива, определяне на k -добри алтернативи или ранкиране на алтернативите.

2.5. Модели за групово вземане на решения в условията на неопределеност

При наличие на зададен определен брой алтернативи, целта е да се избере най-предпочитаната алтернатива, като се вземат предвид спецификата на съществуващите стратегии за преодоляване на неопределеността, съгласно

принципите на Валд, Сейвидж, Лаплас и Хурвиц [Vemic, 2017]. Функцията на полезност, в най-общия случай може да бъде изразена чрез съотношението между очакваните разходи и очакваните приходи и има вида [Boardman и др., 2010]:

$$(2.24) \quad CBE = \frac{Cost}{Benefit}$$

При тази постановка на задачата, оценките за алтернативите се получават чрез формулата за разходите и приходите (2.24), при възможни различни състояния (перспективи). Следователно, матрица от Таблица 2.1, в случая групово вземане на решения в условията на неопределеност се представя по следния начин (Таблица 2.2):

Таблица 2.2. Модифицирана структура на матрицата при групово вземане на решения в условията на неопределеност

Група от експерти	Тегла за експертите	Алтернативи (A _i)	Състояния			
			S ₁	S ₂		S _n
E ¹	λ ¹	A ₁	CBE ₁₁ ¹	CBE ₁₂ ¹		CBE _{1n} ¹
		A ₂	CBE ₂₁ ¹	CBE ₂₂ ¹		CBE _{2n} ¹
			...	...	...	...
		A _m	CBE _{m1} ¹	CBE _{m2} ¹		CBE _{mn} ¹
....			...	...	...	...
E ^k	λ ^k	A ₁	CBE ₁₁ ^k	CBE ₁₂ ^k		CBE _{1n} ^k
		A ₂	CBE ₂₁ ^k	CBE ₂₂ ^k		CBE _{2n} ^k
			...	...	...	...
		A _m	CBE _{m1} ^k	CBE _{m2} ^k		CBE _{mn} ^k

2.5.1. Модели за избор в условията на неопределеност при групово вземане на решения

При използване критерия на Валд, моделът за групов избор на най-предпочитаната алтернатива има следното представяне [Borissova и др., 2017]:

$$(2.25) \quad \maxmin \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda^k CBE_{ij}^k$$

при ограничения

$$(2.26) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

където CBE_{ij}^k изразява съответната оценка на i -тата алтернатива, спрямо j -тото състояние на k -ия експерт от групата. И тук са използвани теглови коефициенти λ^k за изразяване на експертизата на членовете от групата.

При използване критерия на Лаплас, моделът за групов избор на най-предпочитаната алтернатива има следното представяне [Borissova и др., 2017]:

$$(2.27) \quad \max \left(\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda^k \frac{CBE_{ij}^k}{M} \right)$$

при ограничения

$$(2.28) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

При използване критерия на Хурвиц, моделът за групов избор на най-предпочитаната алтернатива има следното представяне [Borissova и др., 2017]:

$$(2.29) \quad \max \left\{ \alpha \max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda^k CBE_{ij}^k + (1 - \alpha) \min \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda^k CBE_{ij}^k \right\}$$

при ограничения

$$(2.30) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

коефициентът на песимизъм е изразен чрез $(1 - \alpha)$.

При използване критерия на Сейвидж, моделът за групов избор на най-предпочитаната алтернатива е следния [Borissova и др., 2017]:

$$(2.31) \quad \min \max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \lambda^k R_{ij}^k$$

при ограничения

$$(2.32) \quad \forall i = 1, 2, \dots, M : (\forall k = 1, 2, \dots, K : R_{ij}^k = |CBE_{ij}^k - \max CBE_{ij}^k|)$$

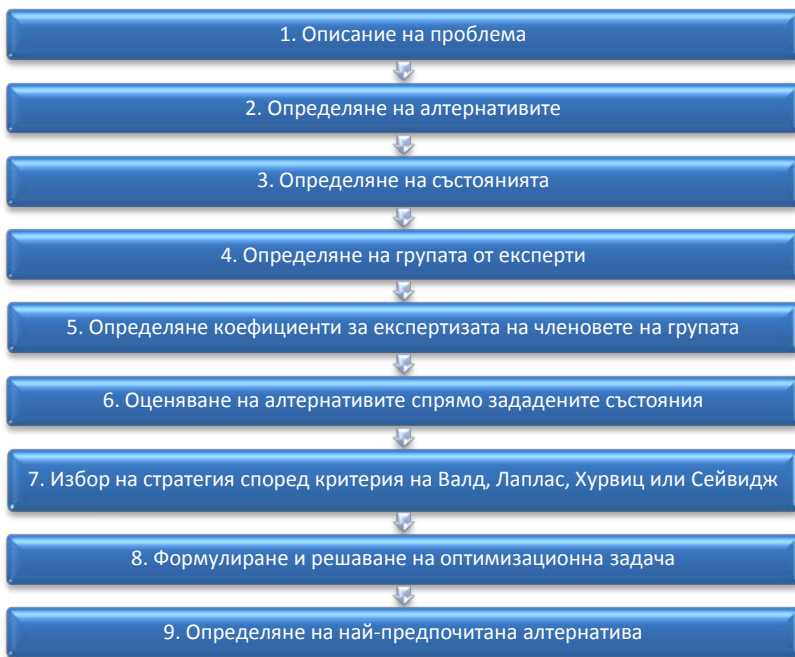
$$(2.33) \quad \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$$

където R_{ij}^k представляват загубите в резултат на пропуснати възможности.

2.5.2. Алгоритъм за прилагане на моделите при групово вземане на решения с отчитане на условията на неопределеност

Основните етапи на алгоритъма за реализиране на групово вземане на решения в условията на неопределеност, са показани на Фиг. 2.5.

Първите 5 етапа се реализират от лидера на групата, етапи 6 и 7 се изпълняват от членовете на групата, а етапи 8 и 9 се възлагат на съответните ИТ специалисти за формулиране и решаване на оптимизационна задача. Така полученото решение определя алтернатива, която се предоставя на лидера за вземане на крайното решение.



Фиг. 2.5. Алгоритъм за реализиране на групово вземане на решение в условията на неопределеност

Глава 3. Числено тестване на предложените модели и алгоритми за групово вземане на решения

В тази глава са описани резултатите от проведените числени експерименти на предложените модели и алгоритми за групово вземане на решения, обобщени като:

- числено тестване на базата на реални примери, доказващо практическа приложимост на модификациите на модела на претеглената сума и модела на претегленото произведение за избор на алтернатива/и в условията на групово вземане на решения,
- числено тестване на предложената модификация на модела SMART за избор на алтернатива в условията на групово вземане на решения,
- числени експерименти с предложения алгоритъм и модели за групово вземане на решения с три различни стратегии,
- числено тестване на моделите за групово вземане на решения в условията на неопределеност на базата на реални примери, доказващи практическата им приложимост.

3.1. Тестване на модифицирания модел на претеглената сума при групово вземане на решения

3.1.1. Избор на софтуерна система за планиране на корпоративни ресурси

Предложеният модифициран модел на претеглената сума за избор на алтернатива при групово вземане на решения, използва за изходни данни, адаптирани от проблем за избор на софтуерна система за планиране на корпоративни ресурси (ERP) [Efe, 2016]. Използвани са 4 критерия: 1) цена (C_1); 2) спецификации на доставчика (C_2); 3) технически спецификации на софтуера (C_3); и 4) лекота на използване (C_4). Групата включва 5 експерта: финансов консултант (Е-1), бизнес-анализатори (Е-2 и Е-3) и администратори на бази от данни (Е-4 и Е-5). Нормализираните оценки на алтернативите спрямо критериите, заедно с коефициентите за относителната важност на критериите, както и коефициентите за експертизата на членовете на групата, са показани в Таблица 3.1.

Таблица 3.1. Нормализирана матрица на оценките за алтернативите при групово вземане на решение за избор на система за планиране на корпоративни ресурси

Експерти	Тегла за експертите	Алтернативи	Променливи за избор, x_i	Критерии/тегла/оценки			
				C1	C2	C3	C4
Е-1	0.10			0.3	0.2	0.25	0.25
		A-1	x_1	0.806	0.85	0.777	0.823
		A-2	x_2	0.762	0.894	0.765	0.841
		A-3	x_3	0.818	0.813	0.785	0.877
Е-2	0.27			0.21	0.26	0.26	0.27
		A-1	x_1	0.792	0.865	0.767	0.843
		A-2	x_2	0.785	0.904	0.775	0.905
		A-3	x_3	0.763	0.893	0.792	0.89
Е-3	0.21			0.16	0.28	0.28	0.28
		A-1	x_1	0.822	0.876	0.815	0.915
		A-2	x_2	0.793	0.884	0.838	0.885
		A-3	x_3	0.808	0.831	0.808	0.897
Е-4	0.25			0.18	0.22	0.28	0.33
		A-1	x_1	0.788	0.798	0.807	0.873
		A-2	x_2	0.764	0.815	0.868	0.916
		A-3	x_3	0.749	0.855	0.835	0.905
Е-5	0.17			0.2	0.25	0.25	0.3
		A-1	x_1	0.797	0.877	0.786	0.865
		A-2	x_2	0.811	0.897	0.798	0.897
		A-3	x_3	0.823	0.854	0.812	0.925

Използвайки нормализираните данни от Таблица 3.1, и предложения модифициран модел (2.1) – (2.5) на претеглената сума за избор на алтернатива при групово вземане на решения, се формулира следната оптимизационна задача:

$$(3.1) \quad \text{maximize} \quad \left(\sum_{i=1}^3 x_i \sum_{k=1}^5 \lambda^k A_i^k \right)$$

при ограничения

$$(3.2) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 3: (\forall k = 1, 2, \dots, 5: A_i^k = \sum_{j=1}^4 w_j^k e_{i,j}^k)$$

$$(3.3) \quad \sum_{j=1}^4 w_j^k = 1, \forall k = 1, 2, \dots, 5$$

$$(3.4) \quad x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad x_i \in \{0,1\}$$

$$(3.5) \quad \lambda^1 = 0.10; \lambda^2 = 0.27; \lambda^3 = 0.21; \lambda^4 = 0.25; \lambda^5 = 0.17$$

Решението определя стойности на двоичните целочислени променливи за избор на алтернатива: $x_2 = 1$ и $x_1 = x_3 = 0$.

Резултатите при различни коефициенти за важността на оценките на експертите, за избор на 1 и 2 алтернативи, са показани в Таблица 3.2 [Korsemov & Borissova, 2018]:

Таблица 3.2 Резултати за избор на една алтернатива и избор на 2 алтернативи

Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата					Избрана 1 алтернатива	Избрани 2 алтернативи
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5		
(1)	0.10	0.27	0.21	0.25	0.17	A-2	A-2 & A-3
(2)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	A-2	A-2 & A-3
(3)	0.35	0.13	0.12	0.20	0.20	A-3	A-2 & A-3

3.1.2. Избор на доставчик на персонални компютри за целите на обществена поръчка

Предложеният модифициран модел на претеглената сума е използван при избор на доставчик за персонални компютри за целите на обществена поръчка при наличие на три оферти (A-1, A-2, A-3). Всяка оферта се оценява по 12 критерия: 1) технически показатели; 2) цена на офертата; 3) ценови облекчения; 4) възможност за разсрочено плащане; 5) гаранция; 6) извънгаранционно обслужване; 7) брой налични сервиси; 8) наличие на опитен персонал; 9) сертификати; 10) предишен опит; 11) време за изпълнение; 12) препоръки от клиентите. Определена е група от един финансов консултант (E-1), двама IT специалисти (E-2 и E-3) 4) и един мениджър (E-5). Нормализираните оценки заедно с коефициентите за относителната важност на отделните критерии, както и коефициентите за

експертизата на членовете на групата, са показани в Таблица 3.3 [Korsemov и др., 2018]:

Таблица 3.3. Нормализирана матрица на оценките при групово вземане на решения за избор на доставчик на персонални компютри при обществена поръчка

Експерти	Тегла за експертите	Алтернативи	Критерии/тегла/оценки											
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
E-1	0.20		0.08	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.07	0.10
		A-1	0.76	1.00	0.72	0.82	0.76	0.56	0.69	1.00	0.68	0.66	0.66	0.56
		A-2	0.83	0.88	0.78	0.93	0.77	0.58	0.65	0.93	0.79	0.76	0.68	0.55
		A-3	0.81	0.90	0.76	1.00	0.72	0.66	0.72	0.92	0.74	0.75	0.70	0.63
E-2	0.20		0.11	0.07	0.07	0.06	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09
		A-1	0.81	0.85	0.73	0.67	0.67	0.89	0.73	0.67	0.74	0.85	0.80	0.93
		A-2	0.84	0.78	0.76	0.65	0.77	0.91	0.75	0.69	0.78	0.82	0.81	0.85
		A-3	0.82	0.74	0.73	0.72	0.72	0.82	0.78	0.65	0.79	0.78	0.73	0.91
E-3	0.20		0.15	0.06	0.06	0.06	0.11	0.10	0.09	0.09	0.06	0.06	0.07	0.09
		A-1	0.86	0.81	0.78	0.77	0.95	0.82	0.84	0.82	0.81	0.76	0.96	0.79
		A-2	0.72	0.79	0.76	0.81	0.83	0.76	0.70	0.81	0.78	0.79	0.89	0.82
		A-3	0.81	0.78	0.79	0.69	1.00	0.80	0.79	0.88	0.83	0.72	1.00	0.76
E-4	0.20		0.13	0.06	0.06	0.06	0.12	0.11	0.09	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08
		A-1	1.00	0.85	0.61	0.62	0.95	0.93	0.73	0.73	0.94	0.85	0.85	0.93
		A-2	0.88	0.74	0.66	0.66	0.96	1.00	0.75	0.79	0.88	1.00	0.92	0.88
		A-3	0.92	0.76	0.73	0.75	0.83	0.91	0.78	0.76	1.00	0.88	0.78	0.90
E-5	0.20		0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.06	0.06	0.07	0.06	0.09	0.10	0.06
		A-1	0.92	0.79	0.88	0.73	0.83	0.78	1.00	0.73	0.72	0.76	0.63	0.84
		A-2	0.78	0.88	1.00	0.72	0.84	0.71	0.88	0.74	0.75	0.78	0.68	1.00
		A-3	0.84	0.76	0.82	0.68	0.88	0.73	0.91	0.79	0.81	0.82	0.69	0.86

Формулирани и решени са задачи за определяне 1 и респективно 2 добри алтернативи при различни коефициенти за важността на оценките на експертите, са показани в Таблица 3.4:

Таблица 3.4. Резултати за избор на една алтернатива и избор на 2 алтернативи

Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата					Избрана 1 алтернатива	Избрани 2 алтернативи
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5		
(1)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	A1	A1 & A3
(2)	0.25	0.10	0.15	0.25	0.25	A3	A2 & A3
(3)	0.27	0.12	0.13	0.18	0.30	A2	A2 & A3

3.1.3. Избор на изпълнител в областта на софтуерното инженерство

Численият пример за избор на изпълнител в областта на софтуерното инженерство, адаптиран от [Krapohl, 2014], е описан в [Korsemov и др., 2018]. Проблемът се състои от 3 зададени алтернативи (A-1, A-2, A-3),

оценявани по 19 критерия от група от 6 експерта (Е-1, Е-2, Е-3, Е-4, Е-5, Е-6).
Изходните данни са показани в Таблица 3.5.

Таблица 3.5. Входни данни за примера от софтуерното инженерство

Експерти	Алтернативи	Критерии/тегла/оценки																		Коеф. за експерта		
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	Case 1	Case 2
E-1		0.010	0.075	0.075	0.045	0.075	0.075	0.045	0.075	0.045	0.075	0.065	0.070	0.070	0.060	0.020	0.020	0.040	0.040	0.020		
	A-1	2.000	9.000	9.000	10.000	3.000	4.000	8.000	6.000	5.000	2.000	6.000	2.000	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	4.000	4.000	0.167	0.11
	A-2	10.000	9.000	10.000	10.000	5.000	10.000	9.000	8.000	6.000	4.000	8.000	10.000	8.000	9.000	8.000	7.000	3.000	2.000	8.000		
	A-3	8.000	3.000	6.000	8.000	3.000	5.000	7.000	5.000	6.000	10.000	7.000	6.000	5.000	4.000	4.000	7.000	5.000	1.000	3.000		
E-2		0.035	0.075	0.095	0.020	0.040	0.020	0.060	0.075	0.095	0.020	0.075	0.040	0.020	0.060	0.075	0.040	0.060	0.075	0.020		
	A-1	4.000	8.000	2.000	6.000	1.000	5.000	9.000	4.000	6.000	10.000	5.000	8.000	1.000	6.000	4.000	8.000	9.000	4.000	2.000	0.167	0.12
	A-2	5.000	8.000	4.000	2.000	10.000	5.000	6.000	7.000	10.000	8.000	9.000	1.000	2.000	5.000	10.000	9.000	8.000	6.000	8.000		
	A-3	4.000	1.000	5.000	8.000	7.000	9.000	4.000	10.000	5.000	10.000	4.000	6.000	10.000	4.000	8.000	10.000	9.000	10.000	8.000		
E-3		0.050	0.050	0.050	0.030	0.072	0.050	0.030	0.072	0.050	0.050	0.072	0.072	0.071	0.050	0.030	0.050	0.071	0.050	0.030		
	A-1	6.000	7.000	8.000	4.000	9.000	3.000	4.000	6.000	8.000	8.000	6.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	10.000	1.000	1.000	0.167	0.05
	A-2	8.000	7.000	8.000	7.000	7.000	7.000	10.000	8.000	6.000	8.000	8.000	7.000	8.000	8.000	6.000	9.000	4.000	1.000	6.000		
	A-3	6.000	5.000	7.000	8.000	2.000	2.000	6.000	6.000	6.000	6.000	2.000	5.000	5.000	2.000	2.000	1.000	2.000	1.000	2.000		
E-4		0.050	0.050	0.020	0.030	0.070	0.035	0.050	0.070	0.035	0.035	0.070	0.035	0.035	0.070	0.050	0.070	0.070	0.070	0.070		
	A-1	1.000	7.000	7.000	4.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000	1.000	1.000	0.167	0.24
	A-2	9.000	1.000	10.000	7.000	3.000	8.000	7.000	7.000	2.000	7.000	8.000	6.000	7.000	7.000	8.000	8.000	5.000	1.000	7.000		
	A-3	8.000	1.000	8.000	6.000	8.000	7.000	7.000	7.000	5.000	9.000	7.000	6.000	7.000	6.000	8.000	7.000	8.000	1.000	6.000		
E-5		0.027	0.048	0.048	0.027	0.067	0.027	0.048	0.048	0.067	0.028	0.067	0.048	0.048	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067		
	A-1	1.000	6.000	6.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	5.000	1.000	2.000	0.166	0.38
	A-2	9.000	2.000	9.000	8.000	2.000	7.000	5.000	5.000	1.000	6.000	9.000	6.000	6.000	8.000	8.000	7.000	4.000	1.000	6.000		
	A-3	9.000	2.000	8.000	7.000	9.000	7.000	8.000	8.000	7.000	9.000	8.000	6.000	6.000	6.000	7.000	8.000	8.000	2.000	5.000		
E-6		0.067	0.020	0.067	0.040	0.055	0.055	0.040	0.067	0.055	0.040	0.068	0.068	0.068	0.055	0.067	0.068	0.040	0.040	0.020		
	A-1	1.000	7.000	7.000	3.000	1.000	1.000	8.000	2.000	8.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	10.000	1.000	1.000	0.166	0.10
	A-2	9.000	10.000	10.000	8.000	7.000	7.000	10.000	10.000	5.000	9.000	7.000	8.000	9.000	10.000	10.000	9.000	5.000	1.000	8.000		
	A-3	2.000	10.000	10.000	2.000	9.000	3.000	8.000	3.000	9.000	9.000	2.000	5.000	5.000	7.000	8.000	7.000	7.000	1.000	6.000		

Получените резултати (Таблица 3.6) за случая на Case-1 са идентични с резултати, описани в [Krapohl, 2014, Mustakarov & Borissova, 2014], а именно – определяне като най-добър избор алтернативата А-2. Това сравнение доказва коректността на предложения оптимизационен модел за групово вземане на решения (2.1) – (2.5). При Case-2, решението определя като най-предпочитана алтернатива – А-3.

Таблица 3.6. Избор на алтернатива/и при два различни набора от теглови коефициенти за експертната на членовете на групата

Case	Теглови коефициенти за експертната на членовете на групата						Избрана 1 алтернатива	Избрани 2 алтернативи
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6		
Case-1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.166	0.166	A-2	A-2 & A-3
Case-2	0.110	0.120	0.050	0.240	0.380	0.100	A-3	A-2 & A-3

При определянето на 2 предпочитани алтернативи, едновременно са определени алтернативите А-2 и А-3 и за двата случая на претеглени коефициенти за експертите (Таблица 3.6). Тук не е известно коя от избраните две алтернативи е по-добра, но и за двете алтернативи А-2 и А-3 може да се твърди, че със сигурност са по-добри от алтернативата А-1.

3.2. Тестване на модифицирания модел на претегленото производство при групово вземане на решения

3.2.1. Избор на система за планиране на корпоративни ресурси (ERP)

Използвайки данните от Таблица 3.1 и предложения модифициран модел (2.8) – (2.12) на претегленото производство за избор на алтернатива при групово вземане на решения е формулирана следната оптимизационна задача:

$$(3.6) \quad \text{maximize} \quad \sum_{i=1}^3 x_i \sum_{k=1}^5 \lambda^k R(A_i)^k$$

при ограничения

$$(3.7) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 3 : (\forall k = 1, 2, \dots, 5 : R(A_i)^k = \prod_{j=1}^4 (e_{ij}^k)^{w_j^k})$$

$$(3.8) \quad \sum_{j=1}^4 w_j^k = 1, \forall k = 1, 2, \dots, 5$$

$$(3.9) \quad x_1 + x_2 + x_3 = 1, x_i \in \{0,1\}$$

$$(3.10) \quad \lambda^1 = 0.10; \lambda^2 = 0.27; \lambda^3 = 0.21; \lambda^4 = 0.25; \lambda^5 = 0.17$$

Решението на задачата определя стойностите на двоичните целочислени променливи $x_2 = 1$ и $x_1 = x_3 = 0$. Получените резултати при 3

различни набори от коефициенти за важността на оценките на експертите, за избор на 1 и респективно 2 алтернативи са показани в Таблица 3.7.

Таблица 3.7 Избор на алтернативи при различни коефициенти за експертите

Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата					Избрана 1 алтернатива	Избрани 2 алтернативи
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5		
(1)	0.10	0.27	0.21	0.25	0.17	A-2	A-2 & A-3
(2)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	A-2	A-2 & A-3
(3)	0.35	0.13	0.12	0.20	0.20	A-3	A-2 & A-3

3.2.2. Избор на доставчик на персонални компютри за целите на обществена поръчка

Нормализираните оценки на представянето на алтернативите спрямо критериите, заедно с коефициентите за относителната важност на отделните критерии, показани в Таблица 3.3 са използвани за формулиране на задачи за опрделане на най-предпочитания доставчик по обществена поръчка за доставка на персонални компютри чрез групово вземане на решения.

Получените резултати от численото тестване на предложения модифициран модел на претегленото произведение в случая на определяне 1 и респективно 2 добри алтернативи при различни коефициенти за важността на оценките на експертите, са показани в Таблица 3.8.

Таблица 3.8. Избор на алтернативи в резултат на решенията на формулираните оптимизационни задачи

Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата					Избрана 1 алтернатива	Избрани 2 алтернативи
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5		
(1)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	A3	A2 & A3
(2)	0.25	0.10	0.15	0.25	0.25	A3	A2 & A3
(3)	0.27	0.12	0.13	0.18	0.30	A3	A2 & A3

3.3. Числено тестване на модифицираните модели на претеглената сума и претегленото произведение при групово вземане на решения в средата на MS Excel

Описаните числени примери за модифицирания модел на претеглената сума и модел на претегленото произведение при групово вземане, са реализирани в MS Excel, Фиг. 3.8 [Korsemov и др., 2018].

Получените резултати в средата на MS Excel (Фиг. 3.8) са идентични с получените резултати при решаването на оптимизационните задачи чрез солвера на Lingo.

	(3)	(1)	(2)	Alternatives Spec. A _i	Decision variables x _j	Cost, C ₁	Vendor Spec., C ₂	Tech. Spec., C ₃	Ease of use, C ₄
1									
2						0.3	0.2	0.25	0.25
3				A ₁	x ₁	0.806	0.85	0.777	0.823
4	0.35	0.10	0.20	A ₂	x ₂	0.762	0.894	0.765	0.841
5				A ₃	x ₃	0.818	0.813	0.785	0.877
6						0.21	0.26	0.26	0.27
7				A ₁	x ₁	0.792	0.865	0.767	0.843
8	0.13	0.27	0.20	A ₂	x ₂	0.785	0.904	0.775	0.905
9				A ₃	x ₃	0.763	0.893	0.792	0.89
10						0.16	0.28	0.28	0.28
11				A ₁	x ₁	0.822	0.876	0.815	0.915
12	0.12	0.21	0.20	A ₂	x ₂	0.793	0.884	0.838	0.885
13				A ₃	x ₃	0.808	0.831	0.808	0.897
14						0.18	0.22	0.28	0.33
15				A ₁	x ₁	0.788	0.798	0.807	0.873
16	0.20	0.25	0.20	A ₂	x ₂	0.764	0.815	0.868	0.916
17				A ₃	x ₃	0.749	0.855	0.835	0.905
18						0.2	0.25	0.25	0.3
19				A ₁	x ₁	0.797	0.877	0.786	0.865
20	0.20	0.17	0.20	A ₂	x ₂	0.811	0.897	0.798	0.897
21				A ₃	x ₃	0.823	0.854	0.812	0.925
22	1.00	1.00	1.00						
23									
24									
25	SAW for GDM					WPM for GDM			
26	(2)	(1)	(3)			(2)	(1)	(3)	
27	A-1=	0.8315	0.8327	0.8271		A-1=	0.8287	0.8294	0.8244
28	A-2=	0.8457	0.8501	0.8393		A-2=	0.8422	0.8460	0.8357
29	A-3=	0.8431	0.8449	0.8408		A-3=	0.8398	0.8410	0.8376
30	max=	0.8457	0.8501	0.8408		max=	0.8422	0.8460	0.8376
31									

Фиг. 3.8. Избор на най-добра алтернатива използвайки модифицираните модели при групово вземане на решения

Малките разлики в получените стойности за целевите функции при Lingo v.12 и стойностите, показани на Фиг. 3.5, се дължат на факта, че съответните клетки на електронната таблица MS Excel, са форматираны да показват числата с точност до 4-ия знак след десетичната запетая.

Трябва да се отбележи, че освен масовото разпространение и използване на MS Excel, предимството е и че веднъж въведени съответните формули, лесно могат се направят корекции на съответния проблем, ако това е необходимо. Като недостатък може да се отбележи, че моделите на MS Excel не могат да определят едновременно няколко добри алтернативи, за разлика от тези, решавани в средата на системата Lingo.

Примерът за избор на доставчик на PCs за целите на обществена поръчка е реализиран също в MS Excel, като с получените резултати са идентични с тези при решаването на оптимизационните задачи чрез солвера на Lingo. На Фиг. 3.9 е показан скрийншот от MS Excel за реализираните модифицираните модели при групово вземане на решения.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	

Фиг. 3.9. Избор на една най-добра алтернатива чрез предложените модификационни модел на претеглената сума и модел на претегленото произведение при групово вземане на решения

3.4. Числено тестване на модифицирания модел на SMART при групово вземане на решения

Като изходни данни за численото тестване на предложения модел, са използвани адаптирани данни от проблема за избор на ERP, описан в [Efe, 2016]. За оценката на софтуера и неговия доставчик, са използвани

критериите: 1) цена (C_1); 2) спецификации на доставчика (C_2); 3) технически спецификации на софтуера (C_3); и 4) лекота на използване (C_4). Задачата за избор на най-предпочитана алтернатива се реализира от зададени 5 алтернативи, оценявани по 4 критерия. Изборът се реализира от група, включваща: администратор на база данни (Е-1), финансов консултант (Е-2) и бизнес анализатор (Е-3). Нормализирани оценки, заедно с коефициентите за относителната важност на критериите, спрямо гледната точка на всеки експерт, както и коефициентите за експертизата на членовете на групата, са представени в Таблица 3.9

Таблица 3.9 Нормализирана матрица на оценките за алтернативите при групово вземане на решение за избор на система за планиране на корпоративни ресурси

Група от експерти	Тегла за експертите	Алтернативи	Критерии/тегла/оценки			
			C1	C2	C3	C4
Е-1	0.33		0.10	0.25	0.40	0.25
		A-1	0.92757	0.89738	0.14286	0.92757
		A-2	0.55556	0.33333	0.42857	0.42857
		A-3	0.55556	0.81087	0.33333	0.42857
		A-4	0.77778	0.14286	0.89738	0.89738
		A-5	0.68785	0.46577	0.63224	0.58876
Е-2	0.33		0.50	0.25	0.10	0.15
		A-1	0.55556	0.68712	0.33333	0.55556
		A-2	0.92757	0.33333	0.42857	0.92757
		A-3	0.77778	0.89738	0.42857	0.77778
		A-4	0.55556	0.92757	0.33333	0.42857
		A-5	0.46577	0.68785	0.63224	0.63224
Е-3	0.34		0.15	0.15	0.30	0.40
		A-1	0.33333	0.89738	0.14286	0.33333
		A-2	0.81087	0.92757	0.24560	0.92757
		A-3	0.24560	0.24560	0.42857	0.33333
		A-4	0.33333	0.33333	0.33333	0.14286
		A-5	0.63224	0.63224	0.68785	0.46577

Използвайки предложения модифициран модел, базиран на SMART метода за групово вземане на решение (2.13) – (2.17), е формулирана следната оптимизационна задача:

$$(3.11) \quad \text{maximize} \sum_{i=1}^5 x_i \sum_{k=1}^3 \lambda^k A_i^k$$

при ограничения

$$(3.12) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 5: (\forall k = 1, 2, \dots, 3: A_i^k = \sum_{j=1}^4 (w_j^k)^* e_{i,j}^k)$$

$$(3.13) \quad (w_j^k)^* = w_j^k \left(\sum_{j=1}^N w_j^k \right)^{-1}$$

$$(3.14a) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1, x_i \in \{0,1\}$$

$$(3.14b) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 3, x_i \in \{0,1\}$$

$$(3.15) \quad \sum_{k=1}^3 \lambda^k = 1$$

Решението на задачата, при използване на софтуерната система Lingo v.12 и за три различни набора от коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата са показани в Таблица 3.10.

Таблица 3.10 Избор на алтернативи при различни коефициенти за експертите

Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата			Избрана 1 алтернатива	Избрани 3 алтернативи
	E-1	E-2	E-3		
(1)	0.33	0.33	0.34	A-2	A-2, A-3, A-5
(2)	0.35	0.20	0.45	A-2	A-1, A-2, A-5
(3)	0.46	0.22	0.32	A-5	A-2, A-4, A-5

От Таблица 3.10 се вижда, че използването на коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата, влияят на крайното решение при определянето на най-предпочитаната алтернатива.

3.5. Числено тестване на предложения алгоритъм с три различни стратегии при групово вземане на решения

Конкретната задача е формулирана на базата на реален проблем от практиката на фирма, произвеждаща металообработващи машини ЦПУ. Проблемът е свързан с избор на доставчик за допълнителни елементи, необходими за окомплектоването на произвежданите машини. Необходимо е да се направи избор от 5 потенциални доставчика (5 алтернативи: A-1, A-2, A-3, A-4 и A-5), оценявани по 10 критерия: 1) единична цена на елементите; 2) наличие на отстъпка при заявка на определено количество; 3) степен на отхвърляне при контрол на входа; 4) степен на отхвърляне от страна на клиентите; 5) време за изпълнение на поръчките; 6) гъвкавост при наличие на неочаквани поръчки; 7) способност в управлението; 8) съвместимост с производствената стратегия; 9) способности за иновации; 10) разрешаване на неочаквано възникнали проблеми [Chou & Chang, 2008].

Изборът се реализира от мениджър по проектите (E-1), мениджър на продукцията (E-2), маркетинг мениджър (E-3), мениджър по продажбите (E-4) и мениджър за научноизследователска и развойна дейност (E-5). Нормализираните оценки за алтернативите, спрямо определените критерии, заедно с теглата за относителната важност на всеки един от критериите, както и теглата за експертите са показани в Таблица 3.11.

Таблица 3.11. Нормализирана матрица на оценките за алтернативите при групово вземане на решения за избор на доставчик за допълнителни елементи

Експерти	Тегла за експертите	Алтернативи	Критерии/тегла/оценки									
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
E-1	0.20		0.2	1	1	0.6	1	1	0.6	1	0.6	0.4
		A-1	0.2	0.9	0.9	1	0.3	0.4	0.8	0.6	0.5	0.4
		A-2	0.8	0.9	1	0.9	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6	0.4
		A-3	0.8	0.3	0.6	0.8	0.3	0.5	0.7	0.5	0.6	1
		A-4	0.2	0.6	0.2	0.4	0.3	0.5	0.7	1	0.4	0.4
		A-5	0.4	0.8	1	0.8	0.9	0.8	0.7	0.3	0.2	0.8
E-2	0.20		0.4	0.8	1	0.2	0.4	0.2	0.6	0.8	1	0.2
		A-1	0.4	0.8	0.2	0.6	0.1	0.5	0.9	0.4	0.6	1
		A-2	0.5	0.8	0.4	0.2	1	0.5	0.6	0.7	1	0.8
		A-3	0.4	0.1	0.5	0.8	0.7	0.9	0.4	1	0.5	1
		A-4	1	0.5	0.8	0.1	0.6	0.4	0.8	0.9	0.4	0.2
		A-5	0.8	0.9	0.1	0.2	0.5	1	0.9	0.8	0.6	0.8
E-3	0.20		0.8	0.8	0.8	0.6	1	0.8	0.6	1	0.8	0.8
		A-1	0.6	0.7	0.8	0.4	0.9	0.3	0.4	0.6	0.8	0.8
		A-2	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	1	0.8	0.6	0.8
		A-3	0.6	0.5	0.7	0.8	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6
		A-4	0.8	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	1	0.1	0.7
		A-5	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.9	0.4	0.1	0.6
E-4	0.20		0.8	0.8	0.4	0.6	1	0.6	0.8	0.8	1	0.6
		A-1	0.1	0.7	0.7	0.4	0.1	0.5	0.2	0.3	0.2	0.1
		A-2	0.9	0.1	1	0.7	0.3	0.8	0.7	0.7	0.2	0.7
		A-3	0.8	0.1	0.8	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.9
		A-4	0.5	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7	0.4	0.1
		A-5	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.5	0.1	0.7
E-5	0.20		0.6	0.8	0.8	0.6	1	0.6	0.8	0.8	1	0.6
		A-1	0.1	0.6	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
		A-2	0.9	0.2	0.9	0.8	0.2	0.7	0.5	0.5	0.1	0.6
		A-3	0.9	0.2	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9
		A-4	0.4	0.8	0.2	0.7	0.1	0.6	0.1	0.5	0.9	0.2
		A-5	0.6	0.9	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.4	0.1	0.6

3.5.1. Избор на една единствена най-добра алтернатива

Първият сценарий от предложения в Глава 2 алгоритъм (Фиг. 2.6), изисква формулиране и решаване на оптимизационна задача, чието решение определя една единствена алтернатива:

$$(3.16) \quad \text{maximize} \quad \left(\sum_{i=1}^5 x_i \sum_{k=1}^5 \lambda^k A_i^k \right)$$

при ограничения

$$(3.17) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 5 : (\forall k = 1, 2, \dots, 5 : A_i^k = \sum_{j=1}^{10} w_j^k e_{i,j}^k)$$

$$(3.18) \quad \sum_{j=1}^N w_j^k = 1$$

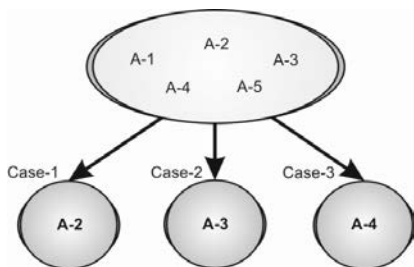
$$(3.19) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1, x_i \in \{0,1\}$$

$$(3.20) \quad \sum_{k=1}^5 \lambda^k = 1$$

Оптимизационната задача (3.16) – (3.20) е решена при три различни набора от коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата, вкл. компетенции, знания и опит, както е показано в Таблица 3.12.

Таблица 3.12. Избрана алтернатива при различни коефициенти за експертизата на членовете от групата

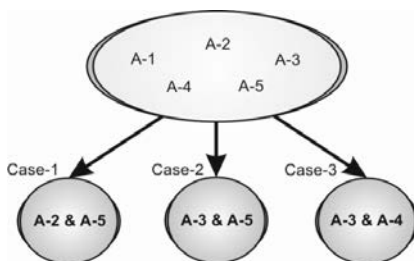
Case	Коефициенти, изразяващи експертизата на членовете на групата					Най-добра една групова алтернатива
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	
(1)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	A-2
(2)	0.10	0.05	0.25	0.30	0.30	A-3
(3)	0.05	0.10	0.40	0.05	0.40	A-4



Фиг. 3.10. Избор на една алтернатива

Получените числени резултати за избор на една най-добра алтернатива, при 3 различни набора на тегловите коефициенти за експертизата на членовете на групата, са илюстрирани на Фиг. 3.10.

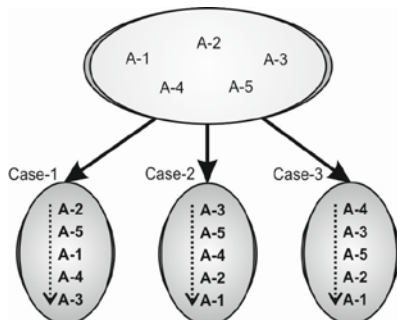
3.5.2. Избор на няколко добри алтернативи



Фиг. 3.11. Избор на 2 добри алтернативи

Получените числени резултати за избор на две добри алтернативи, при същите теглови коефициенти за експертизата на членовете на групата са илюстрирани на Фиг. 3.11

3.5.3. Класиране на всички алтернативи



Фиг. 3.12. Класиране на всички алтернативи

Реализирането на 3-ия сценарий за класиране на всички алтернативи, изисква изпълнение на алгоритъма за класиране на алтернативи, при който последователно се решава и модифицира оригиналната оптимизационна задача (3.17) – (3.21). Получените резултати са илюстрирани на Фиг. 3.12

3.6. Числено тестване на моделите при групово вземане на решения в условията на неопределеност

Численото тестване на групово вземане на решение в условията на неопределеност, е приложено за проблем, отнасящ се до закупуването на специализирана софтуерна система, за която са определени 3 подходящи алтернативи с близки характеристики. Поради динамичността на икономическата среда, перспективите на фирмата могат да бъдат най-общо представени чрез 3 възможни ситуации: увеличаване на приходите, намаляване на приходите, или запазване на текущото състояние. Следователно, субектът на решенията се намира в условията на неопределеност, тъй като възможните ситуации са известни, но не се знае коя от тях ще се сбъдне и няма информация за вероятностите за реализиране на тези ситуации. Формулирана е функция на полезност, основаваща се на оценката на очакваните приходи и разходи, имаща вида:

$$(3.21) \quad CBE = \frac{\text{Разходи}}{\text{Приходи}} = \frac{C_{ac} + C_{cust} + C_{inst} + C_{test} + C_{staff} + C_{proc} + C_{file} + C_{un} + C_{lc}}{R_{lcr} + R_{kis} + R_{lc} + R_{ap}}$$

Разходите са изразени чрез сумата от разходите за: придобиване на продукта (C_{ac}), персонализиране (C_{cust}), инсталация (C_{inst}), тестване (C_{test}), обучение (C_{staff}), преобразуване на файлове (C_{file}), деинсталиране на старата система (C_{un}), политика за лоялни клиенти (C_{lc}). Приходите са свързани с намаляването на разходите за труд (R_{lcr}), намаляването на необходимостта от запазване на запасите (R_{kis}), подобряване на надеждността чрез нова политика за лоялни клиенти (R_{lc}), използване на повече автоматизирани процеси (R_{ap}). Използването на (3.21) прави възможно оценяването в резултат на реализирането на определени ситуации, както е показано в Таблица 3.15.

Таблица 3.15. Модифицирана матрица при групово вземане на решения в условията на неопределеност

Експерти	Тегла за експертите	Алтернативи (A_i)	Състояния		
			Увеличаване	Намаляване	Без промяна
Е-1	0.25	A-1	0.52	0.83	0.75
		A-2	0.53	0.86	0.72
		A-3	0.54	0.84	0.71
Е-2	0.35	A-1	0.56	0.87	0.78
		A-2	0.55	0.80	0.74
		A-3	0.58	0.81	0.72
Е-3	0.40	A-1	0.62	0.85	0.72
		A-2	0.60	0.88	0.76
		A-3	0.61	0.82	0.70

3.6.1. Числено тестване на модела при групово вземане на решения и използване критерия на Валд

Като се използва критерия на Валд, се формулира следната оптимизационна задача за определяне на най-предпочитана алтернатива:

$$(3.22) \quad \max \min \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \lambda^k CBE_{ij}^k$$

при ограничения

$$(3.23) \quad \lambda^1 = 0.25; \lambda^2 = 0.35; \lambda^3 = 0.40$$

Решението на задачата (3.22) – (3.23) определя като най-предпочитана алтернативата A-3.

3.6.2. Числено тестване на модела при групово вземане на решения и използване критерия на Лаплас

Използването на критерия на Лаплас води до формулиране на следната оптимизационна задача за определяне на най-предпочитана алтернатива:

$$(3.24) \quad \max \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{\lambda^k CBE_{ij}^k}{M} \right)$$

при ограничения

$$(3.25) \quad \lambda^1 = 0.25; \lambda^2 = 0.35; \lambda^3 = 0.40$$

Решението на задачата (3.24) – (3.25) определя като най-предпочитана алтернативата A-2.

3.6.3. Числено тестване на модела при групово вземане на решения и използване критерия на Хурвиц

Като се използва критерия на Хурвиц се формулира следната оптимизационна задача за определяне на най-предпочитана алтернатива:

$$(3.26) \quad \max \left\{ \alpha \max \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \lambda^k CBE_{ij}^k + (1 - \alpha) \min \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \lambda^k CBE_{ij}^k \right\}$$

при ограничения

$$(3.27) \quad \lambda^1 = 0.25; \lambda^2 = 0.35; \lambda^3 = 0.40$$

$$(3.28) \quad \alpha = 0.4$$

Решението на задачата (3.27) – (3.29) определя за най-предпочитана алтернативата А-1, за $\alpha = 0.4$, а при $\alpha = 0.15$ най-предпочитана е алтернативата А-3.

3.6.4. Числено тестване на модела при групово вземане на решения и използване критерия на Сейвидж

За използване на критерия на Сейвидж е необходимо да бъде съставена матрица на загубите, чиито елементи се изчисляват спрямо гледната точка на всеки експерт от групата чрез:

$$(3.29) \quad R_{ij}^k = |CBE_{ij}^k - \max CBE_{ij}^k|$$

Получените стойности на загубите в резултат на пропуснатите ползи, определени чрез (3.29) са показани в Таблица 3.16.

Таблица 3.16. Матрица на загубите в резултат на пропуснатите ползи

Експерти	Тегла за експертите	Алтернативи (A _i)	Загуби в резултат на пропуснати възможности		
Е-1	0.25	A-1	0.02	0.03	0
		A-2	0.01	0	0.03
		A-3	0	0.02	0.04
Е-2	0.35	A-1	0.02	0	0
		A-2	0.03	0.07	0.04
		A-3	0	0.06	0.06
Е-3	0.40	A-1	0	0.03	0.04
		A-2	0.02	0	0
		A-3	0.01	0.06	0.06

Формулираната оптимизационна задача с отчитане критерия на Сейвидж за избор на най-предпочитана алтернатива има вида:

$$(3.30) \quad \min \max \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \lambda^k R_{ij}^k$$

при ограничения

$$(3.31) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 3: (\forall k = 1, 2, \dots, 3: R_{ij}^k = |CBE_{ij}^k - \max CBE_{ij}^k|)$$

$$(3.32) \quad \lambda^1 = 0.25; \lambda^2 = 0.35; \lambda^3 = 0.40$$

Решението на задачата определя като най-предпочитана алтернативата А-2.

3.6.5. Сравнителен анализ на предложените модели при групово вземане на решения в условията на неопределеност

В Таблица 3.17 е показано сравнение на получените резултатите от решаването на съответните оптимизационни задачи при използването на различни теглови коефициенти за експертите от групата и използване на различни стратегии, реализирани чрез съответни критерии за избор в условията на неопределеност.

Таблица 3.17. Сравнение между различните критерии и избора на най-предпочитана алтернатива

Използван критерий	Тегла за експертите			Избрана групова алтернатива
Case-1	λ^1	λ^2	λ^3	
Валд	0.25	0.35	0.40	A-3
Лаплас	0.25	0.35	0.40	A-2
Хурвиц ($\alpha=0.40$)	0.25	0.35	0.40	A-1
Хурвиц ($\alpha=0.15$)	0.25	0.35	0.40	A-3
Сейвидж	0.25	0.35	0.40	A-2
Case-2	λ^1	λ^2	λ^3	
Валд	0.34	0.46	0.20	A-3
Лаплас	0.34	0.46	0.20	A-1
Хурвиц ($\alpha=0.4$)	0.34	0.46	0.20	A-1
Хурвиц ($\alpha=0.15$)	0.34	0.46	0.20	A-3
Сейвидж	0.34	0.46	0.20	A-2

В резултат на направеното сравнение може да се установи, че използването на различните критерии на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж, в комбинация с гледните точки на експертите от групата, водят до различни предпочитания при определянето на предпочитаната алтернатива на групата. Поради това е важно предварително да се избере най-подходящата стратегия за вземане на решения в условията на неопределеност.

Описаните в дисертационният труд модели могат да бъдат използвани и с други формулировки на използваните функции за полезност.

Предложените модели за групово вземане на решения в условията на неопределеност са кодирани в средата на MS Excel, като инструмент за подпомагане на груповото вземане на решения (Фиг. 3.13).

GDM-uncertainty.xlsx - Microsoft Excel												
Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Add-Ins Acrobat Clipboard Font Alignment Number General Conditional Formatting Format as Table Cell Styles Insert Delete Format Sort & Filter Select												
A1												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		Тегла за експертите	Алтернативи	Състояния					ВАЛД		ЛАПЛАС	
3				Увеличаване	Намаляване	Без промяна						
4		0.25	A-1	0.52	0.83	0.75			A-1	0.5740	A-1	0.2920
5			A-2	0.53	0.86	0.72			A-2	0.5650	A-2	0.2987
6			A-3	0.54	0.84	0.71			A-3	0.5820	A-3	0.2840
7		0.35	A-1	0.56	0.87	0.78			max=	0.5820	max=	0.2987
8			A-2	0.55	0.80	0.74						
9			A-3	0.58	0.81	0.72						
10		0.40	A-1	0.62	0.85	0.72						
11			A-2	0.60	0.88	0.76						
12			A-3	0.61	0.82	0.70						
13												
14												
15				СЕЙВИДЖ					ХУРВИЦ			
16				Загуби в резултат на пропуснати възможности					α	0.4	A-1	0.68520
17				0.005	0.008	0.000			1- α	0.6	A-2	0.67780
18				0.003	0.000	0.008					A-3	0.67780
19				0.000	0.005	0.010					max=	0.68520
20				0.007	0.000	0.000						
21				0.011	0.025	0.014						
22				0.000	0.021	0.021			α	0.15	A-1	0.61570
23				0.000	0.012	0.016			1- α	0.85	A-2	0.60730
24				0.008	0.000	0.000					A-3	0.61793
25				0.004	0.024	0.024					max=	0.61793
26												
27				A-1	0.0160							
28				A-2	0.0245							
29				A-3	0.0240							
30				max=	0.0245							
31												

Фиг. 3.13. Реализиране на предложените модели за групово вземане на решения в условията на неопределеност в средата на MS Excel

Заклучение

Дисертационният труд третира проблемите, възникващи при вземане на решения и в частност, при груповото вземане на решения. В много научно-приложни и приложни области се налага вземане на решения от различно естество. Необходимостта от вземането на решения води до разработване на различни обосновани методи и алгоритми. Същността на тези методи и алгоритми е да подпомага процеса на групово вземане на решения чрез отчитане на различни количествени и качествени критерии. Всичко това обуславя актуалността на изследванията, свързани с разработването на модели и алгоритми за подпомагането на груповото вземане на решения. Важен етап от груповото вземане на решения е формирането на групата от експерти. Съществено при вземането на групово решение е да се отчете влиянието на различието на компетентностите и отговорностите на експертите в групата, върху качеството на крайното решение. Експертизата на всеки член от групата може да се определи на база на натрупан опит и знания в съответната област, които в общия случай са различни за различните експерти.

В дисертационният труд са представени модификации на модели, вземащи предвид квалификацията и опита на отделните членове на групата, участващи в групов избор на най-подходяща алтернатива. Предложени са и съответни алгоритми за практическото им приложение. Разгледани са и случаи на наличие на неопределеност при вземането на решение, когато се предполага, че целите, които трябва да бъдат постигнати са известни, но информацията за алтернативите и за бъдещите събития е непълна. Разработените модели за тези случаи използват принципите на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж.

Чрез числени експерименти на предложените модели и алгоритми за групово вземане на решения на базата на реални примери е доказана тяхната практическа приложимост. Част от предложените модели и алгоритми са реализирани в подходящи софтуерни инструменти, подпомагащи груповото вземане на решения.

Като бъдещо развитие на изследванията в дисертационния труд се планира проучването на възможностите на други модели, с цел модифицирането им за групово вземане на решения, както и създаване на нови модели и алгоритми за подпомагане вземането на решения, вземащи предвид различни съществени параметри и ситуации при груповото вземане на решения.

Получените резултати, описани в дисертационния труд, са отразени в общо 7 научни публикации, 2 от които в сборници от специализирани международни конференции.

Справка за приносите в дисертационния труд

Получените резултати, описани в настоящия дисертационен труд, могат да се обобщят в следните научни и научно-приложни приноси:

1. Формулирани са модификации на модела на претеглената сума, модела на претегленото произведение и модела на SMART за избор на алтернатива/и в условията на групово вземане на решения. Предложените модификации вземат предвид различията в опита и знанията на експертите от групата чрез използването на теглови коефициенти, отразяващи нивото на експертизата. В модификациите на моделите има възможност както за избор на една най-добра алтернатива, така и за избор на няколко добри алтернативи. Предложените модели позволяват формулирането на комбинаторни оптимизационни задачи, чиито решения определят оптималната предпочитана алтернатива/и. Предложени са и съответни алгоритми за практическо приложение на предложените модели.
2. Предложен е обобщен алгоритъм за групово вземане на решения, интегриращ три различни стратегии: 1) за избор на една най-добра алтернатива, 2) за избор на няколко добри алтернативи, 3) за класиране на всички алтернативи. За всяка стратегия са формулирани съответни оптимизационни модели за групово вземане на решения, отчитайки експертизата на всеки член от групата.
3. Предложени са модифицирани модели за групово вземане на решения в условията на неопределеност, използващи критериите на Валд, Лаплас, Хурвиц и Сейвидж. Предложените модификации вземат предвид различията в опита и знанията на експертите от групата, чрез въвеждане на съответни теглови коефициенти за всеки експерт. Формулирани са съответни оптимизационни задачи за определянето на оптималната алтернатива, за всеки от тези критерии.
4. Разработени са електронни таблици в средата на MS Excel на част от предложените модификации на моделите за групово вземане на решения. Получените резултати от тестването на електронните таблици и чрез системата Lingo са идентични, което доказва практическата им приложимост.

Публикации по дисертационния труд

1. Borissova, D., **D. Korsemov**, I. Mustakerov. 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*, 1-2 Nov. 2018, Bucharest, Romania, ISSN 2286-1440, pp. 387-395.
2. **Korsemov, D.**, D. Borissova, I. Mustakerov. Group decision making for selection of supplier under public procurement. In: Kalajdziski S., Ackovska N. (eds) *ICT Innovations 2018. Engineering and Life Sciences. ICT 2018. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 940, Springer, Cham, ISBN: 978-3-030-00824-6, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00825-3_5. (SJР = 0.17)
3. **Korsemov, D.**, D. Borissova, I. Mustakerov. Combinatorial optimization model for group decision-making. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 18(2), 2018, pp. 65-73. (SJР = 0.204)
4. **Korsemov, D.**, D. Borissova. Modifications of simple additive weighting and weighted product models for group decision making. *Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 20(1), 2018, pp. 101-112.
5. Borissova, D., I. Mustakerov, **D. Korsemov**, V. Dimitrova. Selection of ERP via cost-benefit analysis under uncertainty conditions. *Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 19(2), 2017, pp. 177-186.
6. Borissova D., I. Mustakerov, **D. Korsemov**. Business intelligence system via group decision making. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, vol. 16(3), 2016, pp. 219-229. (SJР = 0.198)
7. Borissova, D., I. Mustakerov, **D. Korsemov**, V. Dimitrova. Evaluation and selection of ERP software by SMART and combinatorial optimization. *Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 18(1), 2016, pp. 145-152.

Забелязани цитирания

- Korsemov, D., D. Borissova. Modifications of simple additive weighting and weighted product models for group decision making. *Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 20(1), 2018, pp. 101-112.
- 1. Rizka, A., S. Efendi, P. Sirait. Gain ratio in weighting attributes on simple additive weighting. In: *2nd Nommensen International Conference on Technology and Engineering, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 420, 2018, 012099, doi:10.1088/1757-899X/420/1/012099.
- 2. Rizka, A. Pembobotan atribut pada metode Simple Additive Weighting (SAW) menggunakan gain ratio dalam sistem pendukung keputusan. *Tesis Magister, Universitas Sumatera Utara, Departemen Teknologi Informasi*, 2018, <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/4945>
- Borissova, D., I. Mustakerov, D. Korsemov. Business Intelligence System via Group Decision Making. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 16(3), 2016, pp. 219-229.
- 3. Nicklas Wall. The business intelligence mediator. Master's Thesis, M.Sc. Industrial Management and Engineering, Department of Industrial Economics Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden 2017, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1137770/FULLTEXT01.pdf>
- Borissova, D., I. Mustakerov, D. Korsemov, V. Dimitrova. Evaluation and selection of ERP software by SMART and combinatorial optimization. *Int. Journal Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 18(1), 2016, pp. 145-152 .
- 4. Efe, B. ERP Software Selection Based on Intuitionistic Fuzzy VIKOR Method. In book: *Multi-Criteria Decision-Making Models for Website Evaluation*, 2019, Pages: 17, DOI: 10.4018/978-1-5225-8238-0.ch006, <https://www.igi-global.com/chapter/erp-software-selection-based-on-intuitionistic-fuzzy-vikor-method/227559>

Библиография

1. Boardman, A., D. Greenberg, A. Vining, and D. Weimer. Cost benefit analysis: Concepts and practice. 4rd ed., The Pearson Series in Economics, 2010, Pearson. 560 pages.
2. Borissova D., I. Mustakerov, D. Korsemov. Business intelligence system via group decision making. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 16(3), 2016, pp. 219-229.
3. Borissova, D., I. Mustakerov, D. Korsemov, V. Dimitrova. Evaluation and selection of ERP software by SMART and combinatorial optimization. *Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 18(1), 2016, pp. 145-152.
4. Borissova, D., I. Mustakerov, D. Korsemov, V. Dimitrova. Selection of ERP via cost-benefit analysis under uncertainty conditions. *Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 19(2), 2017, pp. 177-186.
5. Chou S-Y, Chang Y-H. A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, 2008, pp. 2241-2253.
6. Curtis, G. *Business Information Systems: Analysis, Design and Practice* (6th Edition) Financial Times Management, 2008, 720 pages.
7. Efe, B. An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing*, vol. 38, 2016, pp. 106–117.
8. Korsemov, D., D. Borissova, I. Mustakerov. Combinatorial Optimization Model for Group Decision-Making. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 18(2), 2018, pp. 65-73.
9. Korsemov, D., D. Borissova, I. Mustakerov. Group Decision Making for Selection of Supplier under Public Procurement. In: Kalajdziski S., Ackovska N. (eds) *ICT Innovations 2018. Engineering and Life Sciences. ICT 2018. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 940, Springer, Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00825-3_5.
10. Korsemov, D., D. Borissova, I. Mustakerov. Multi-attribute group decision making considering difference in experts knowledge: An Excel application. In *Proc. of the 12th International Management Conference "Management Perspectives in the Digital Era"*, November 1-2, 2018, Bucharest, Romania.
11. Korsemov, D., D. Borissova. Modifications of simple additive weighting and weighted product models for group decision making. *Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 20(1), 2018, pp. 101-112.
12. Krapohl, D. A Structured methodology for group decision making. 2014, <http://www.augmentedintel.com/wordpress/index.php/a-structured-methodology-for-group-decision-making/>
13. Mardani, A., A. Jusoh, K. MD Nor, Z. Khalifah, N. Zakwan & A. Valipour. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a

- review of the literature from 2000 to 2014, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28:1, 2015, 516-571, DOI: 10.1080/1331677X.2015.1075139.
14. Marttunen, M., J. Lienert, V. Belton. Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 263(1), 2017, pp. 1-17.
 15. Mustakerov, I., D. Borissova. A Web application for group decision-making based on combinatorial optimization. In *Proc. of 4th International Conference on Information Systems and Technologies*, 2014, pp. 46-56.
 16. Vemic, M. B. *Optimal Management Strategies in Small and Medium Enterprises*. IGI Global, 2017, 437 pages.
 17. Zavadskas, E. K., Z. Turskis, J. Antucheviciene, A. Zakarevicius. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment, *Elektronika ir Elektrotechnika*, Vol. 122(6), 2012, pp. 3-6.