

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 10.01.2018 г.

ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЕ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА СТРОИТЕЛЕН ПРОЕКТ ЧРЕЗ ДЪРВО НА РЕШЕНИЯТА И ВЕРОЯТНОСТЕН АНАЛИЗ

Ж. Манчева¹

Ключови думи: дърво на решенията, симулация, рекултивация, разходи, вероятност

РЕЗЮМЕ

Вземането на решения при управление на инвестиционни строителни проекти в повечето случаи е в условия на риск и неопределеност. В настоящата студия е предложен подход за вземане на решение с прилагане на дърво на решенията и вероятностен анализ за отчитане на неопределеността на входните променливи, чрез Монте Карло симулация. Предложен е пример с анализ и вземане на решение при избор на алтернативни проекти, като стратегия за управление на проект за рекултивация на нарушен терен. Комбиниран е симулационен анализ с дърво на решенията, за да се намери оптимално решение с критерий най-ниска очаквана стойност на разходите за възстановяване на терена. Използвани са софтуерни продукти @RISK и PrecisionTree на американската компания Palisade Corporation.

1. Въведение

Вземането на решение при управление на проекти е много трудно без включен анализ на риска. Анализът на риска е термин, използван в много отрасли, като се има предвид прилагането на аналитични инструменти за идентифициране, описване, количествено определяне и обяснение на несигурността и нейните последици за проектите. Най-често използваните методи за анализ и управление на риска са: приспособена към

¹ Жулиета Манчева, доц. д-р инж., кат. „Организация и икономика на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: eng.mancheva@gmail.com

риска норма на дисконтиране; субективна вероятност; анализ на решенията; диаграма на влияние; анализ на чувствителността; очаквана парична стойност (EMV); метод Делфи; Монте Карло симулация; размита логика/множество; теория на полезност; теория на вероятностите; анализ на сценариите, вж. [1]. Инструментите, които се използват, зависят от естеството на проблема, който трябва да се реши.

В строителната индустрия, при управление на проекти, често е необходимо да се избира между различни алтернативи, в условия на риск, като се направи монетарна оценка. При избор между конкурентни алтернативи, подходящ инструмент е „дърво на решенията“, вж. [2, 3], а когато трябва да се определи количествено рискът или несигурността, се прави вероятностен анализ, като прилаганата техника най-често е симулация Монте Карло, вж. [4].

В настоящото изследване се предлага подход, обединяващ тези две техники, с цел подпомагане и улесняване на вземането на решения при управление на строителни инвестиционни проекти. Приложен е пример за оптимален избор на решение при планиране на проект за рекултивация, с критерий най-ниска очаквана стойност на разходите за възстановяване на нарушен терен. Използвани са софтуерни продукти @RISK и PrecisionTree, за да намери вероятностното разпределение на разходите за най-добрата стратегия за възстановяване на имота. Моделът е съставен в електронна таблица на Microsoft® Excel, с която работят софтуерните продукти.

2. Вземане на решения при управление на проекти

Анализът на решения осигурява систематичен метод за описване на ситуации, при които трябва да се вземат едно или повече последователни решения, обикновено в условия на несигурност и риск. Това е процес на моделиране на проблемна ситуация, при което се вземат предвид предпочитанията на лицето, вземащо решенията относно риска и неопределеността. Целта е да се идентифицират най-добрите или оптимални решения.

Анализът на решенията има набор от техники за вземането на решение за справяне с риска и несигурността. Неговите методи включват: алгоритми; верижен метод; матрица на решенията и дърво на решенията. Един алгоритъм съдържа поредица от команди за решаване на проблеми. При верижния метод, веригата от цели се изяснява, за да се идентифицират поредица от точки на решения. Матрицата на решения използва форма на матрица, за да представи възможностите, които вземащият решение може да избере, факторите, които са от значение, и възможните резултати. В дървото на решения, поредица от възможни избори и техните възможни резултати са показани графично, с дървовидна структура, вж. [5].

Терминът „стратегия за вземане на решения“ (или просто „стратегия“) понякога се използва вместо термина „решение“. Решението е избор на алтернатива в даден момент във времето. Много проблеми включват само едно решение. Други проблеми, обаче, включват множество решения или последователност от решения, като всяко следващо решение зависи от резултатите от предишните решения, вж. [6].

Вземането на решение е управленски процес, който протича в следната последователност:

- Възникване на проблема. Чрез анализ на ситуацията възниква необходимостта от вземане на решение, която произтича от определянето на непосредствената цел и формулирането на проблемите за решение.
- Поставяне на проблема за решение. Чрез селекция се избира проблемът, който трябва да се реши.

- Определяне на критерии за оценка на решенията. В зависимост от ситуацията и приетите приоритети се подбират критерии, на които може да се придаде различна тежест, според тяхната важност.
- Събиране и анализ на необходимата информация.
- Разработване на алтернативи на решения.
- Оценка и избор на оптимално решение, съобразно подбраните критерии.
- Изпълнение на решението и контрол.

Анализът на решенията предоставя нагледен доклад, състоящ се от предпочитаната и оптимална стратегия за вземане на решение и резултатите от всяко нейно последващо действие. Анализът на решенията може да доведе до по-качествени резултати, като помага на лицата вземащи решения да разберат компромисите, конфликтите на интереси и важните цели.

При вземането на решение се прилага различен подход, в зависимост от характера на решаваните проблеми. Когато ситуацията и резултатите могат да се характеризират само качествено, се прилагат логичното мислене и евристични методи. Когато могат да се използват количествени измерители, се прилагат математически методи, като се моделират процесите и последствията от решенията.

Когато алтернативите на решенията са известни, но съответните им резултати са с определена вероятност, тъй като се намират под влиянието на много фактори, които не могат да бъдат определени предварително, казваме, че се вземат **решения в условия на риск**. Когато алтернативите са неизвестни, а резултатите са неопределени, тъй като не са известни и вероятностите за получаването им, се вземат **решения в условия на неопределеност**, вж. [7].

Дърветата на решенията са много подходящи за действително решаване на проблем с вземането на решения. Те показват всички елементи на проблема – времето, възможните решения, несигурните резултати, възвръщаемостта и разходите, както и вероятностите, във форма, която е проста и лесна за разбиране.

3. Дърво на решенията

Строителната индустрия е получила малко ползи от този аналитичен инструмент, главно поради липсата на изследвания, показващи прилагането на тази техника при управление на строителни проекти. Разработена е методология за прилагане на дърво за вземане на решения при анализ на производителността на труда в строителството, вж. [8]. Методът на дървото на решенията е полезен при вземането на решения в строителството при избор на алтернативни проекти, както и в договорните проблеми, вж. [9]. В контекста на ефективно управление на проектните рискове е използван комбиниран подход за вземане на решения с множество критерии и анализ на дървовидните решения при строителен проект за нефтена рафинерия, като се моделира и оптимизира избора на стратегия за намаляване на риска, вж. [10].

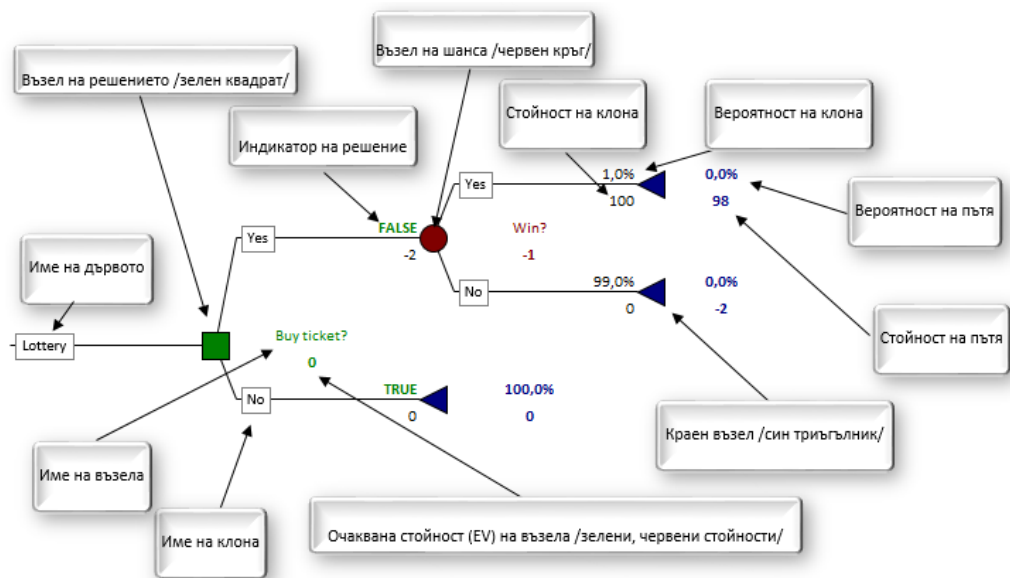
Дървото на решенията дава възможност за избор на рационално управленско решение, когато за всяка алтернатива на решенията са известни или могат да бъдат предвидени стойността на възможните резултати и вероятностите за постигане на един или друг резултат. Дървото на решенията е метод за избор на алтернатива чрез изследване на последователни и взаимно свързани решения и резултатите от тях.

Дървото на решенията е граф, изграден основно от три типа възли: възел на решение (означавано с квадрат), възел на шанса (означавано с кръг), краен възел (означавано с триъгълник) и от „клонни”, които свързват възлите, показано на фиг. 1. Възлите на решенията са точките, при които са налице алтернативи, измежду които следва да се вземе решение на база изчисление на очаквания резултат.

Възлите на шанса са точките, при които дървото на решенията се разклонява на база различните възможни резултати от предприетите действия, като всеки резултат представлява нов клон. Всеки клон, излизащ от възела на шанса, има вероятност на клона, която представлява вероятността за този клон и стойност на клона, което представлява цената (печалба или загуба) от поемането на този клон. Общата сума на всички вероятности на клонове-резултати за даден възел на шанса трябва да е равна на 100% (или 1,0).

Крайният възел, със син триъгълник, показва края на пътя на дървото на решение, където се изчислява общата стойност. Вдясно от крайния възел вероятността на пътя и стойността на пътя показват вероятността и крайната стойност, свързани с този път. Всяка вероятност на път е вероятността да завърши в този възел, когато се използва оптималната стратегия за вземане на решение. Това обяснява защо някои от вероятностите на пътя са 0.

Квадратите, кръговете и триъгълниците представляват точки във времето, които се поставят и извеждат отляво надясно. Квадратите или възлите на решенията посочват решенията, които трябва да се вземат, а кръговете или възлите на шанса посочват времето, когато резултатът от несигурно събитие стане известен. Триъгълниците или крайните възли означават края на времевия хоризонт.



Фиг. 1. Дърво на решението с един възел на решение и един възел на шанса

Клоновете показват етапа, който следва, в зависимост от това, кое решение е взето или кой сценарий се разгръща.

Под всеки клон, който произтича от решение или възел на шанса, може да се добави монетарна стойност, която да посочва паричните постъпления или изходящи

потоци, свързани с това конкретно решение или резултат. Вдясно от крайния възел се показват две числа, като горното представлява вероятността да се стигне до края на този конкретен сценарий, а по-ниското – кумулативната парична стойност.

Всеки клон, излизащ от възела на решение, има индикатор на решение, който показва дали клонът е бил избран за оптимален път (TRUE) или не (FALSE) и стойност на клона, който представлява печалбите или разходите за поемане на този клон. Ключов момент, произтичащ от анализа на дървото на решения, е така наречената очаквана стойност. Започвайки отдясно на дървото и работейки обратно, наляво, изпълняваме два типа изчисления:

- При всеки възел на шанса (кръг) изчисляваме очакваната стойност като сумираме, за всички клонове, произлизащи от този възел, произведението на вероятността на клона и очакваната стойност на този клон.
- При всеки възел на решение (квадрат) определяме най-високата (или най-ниската, ако критерият е разход) очаквана стойност на следващите го възли. Клоновете, водещи до най-високата (най-ниската) очаквана стойност, се обозначават с "TRUE", а останалите с "FALSE", което показва предпочитан набор от действия, основаващи се на максимизиране на очакваната стойност на проекта или минимизиране, ако е само разход.

Продължавайки този процес, стигаме до коренния възел на дървото с очакваната стойност на дървото на решения.

Терминът „очаквана стойност“ обаче е доста объркващ, тъй като тази стойност никога не трябва да се очаква. Всъщност, дори може да бъде невъзможно да се получи, а е просто вероятно претеглена средна стойност на всички потенциални резултати.

Очакваната парична стойност (EMV-expected monetary value) е концепция за икономическа разновидност на очакваната стойност от теорията на вероятностите. Измерва се чрез вероятността за сбъждане на рисковите събития и размерите на загубите на ресурси (финансови средства) при евентуално реализиране на тези събития. Може да се използва като входна информация при други методи и средства за количествен анализ. Приложена като част от техниката „дърво на решенията“, тя намира все по-широко приложение в анализите на инвестиционни проекти, осъществявани в условия на несигурност.

Предимствата на метода „дърво на решенията“ (ДР) пред другите методи за анализ на алтернативи са:

- ДР е нагледен. Може да се представят алтернативи за решения, възможни резултати и случайни събития схематично. Визуалният подход помага да се разберат сложните решения и зависимостите.
- ДР е ефективен. Може бързо и ясно да се изрази сложен проблем за решаване и лесно да се променя ДР, когато се получи нова информация. След като ДР е създадено, може да се използва, за да се сравни как промяната във входните стойности засяга алтернативите за вземане на решение. Стандартното означение за ДР е лесно за приемане.
- ДР е проявяващо. Може да се сравнят конкуриращи се алтернативи по отношение на риска и очакваната стойност. Очакваната стойност съчетава относителните очаквани печалби (загуби) и несигурността в една числова стойност, като показва общите заслуги на конкурентните алтернативи за вземане на решения.

- ДР е допълващо. Може да се използва с други инструменти за управление на проекти. Например, информацията за график на проекта може да бъде оценена по метода на дървото за решения.

4. Симуляционен анализ

Монте Карло симулацията е компютъризирана математическа техника, която позволява да се отчита рискът при количествен анализ и вземане на решения. Техниката се използва от специалисти в различни области като финанси, управление на проекти, енергетика, производство, инженеринг, научноизследователска и развойна дейност, застраховане, нефт и газ, транспорт и околна среда. Монте Карло симулацията е форма на стохастичната симулация.

Съвременната версия на метода е изобретена в края на четиридесетте години на ХХ век от американския математик Станислав Улам, докато той работи по проекти за ядрени оръжия в Националната лаборатория в Лос Аламос, Ню Мексико, САЩ. Той описва идеята на Джон фон Нойман и двамата започват да планират действителните изчисления, вж. [11]. Джон фон Нойман в тясно сътрудничество със Ст. Улам е първият, който реализира идеята за необходимостта от компютър, за да се изпълняват изчисленията на метод Монте Карло много по-лесно. Произходът на името на метода е свързан с град в Княжество Монако, където се намира и едно от най-известните казина в света. Факт е, че случайните числа са в основата на метода Монте Карло, а рулетката е едно от най-лесните устройства за генериране на случайни числа.

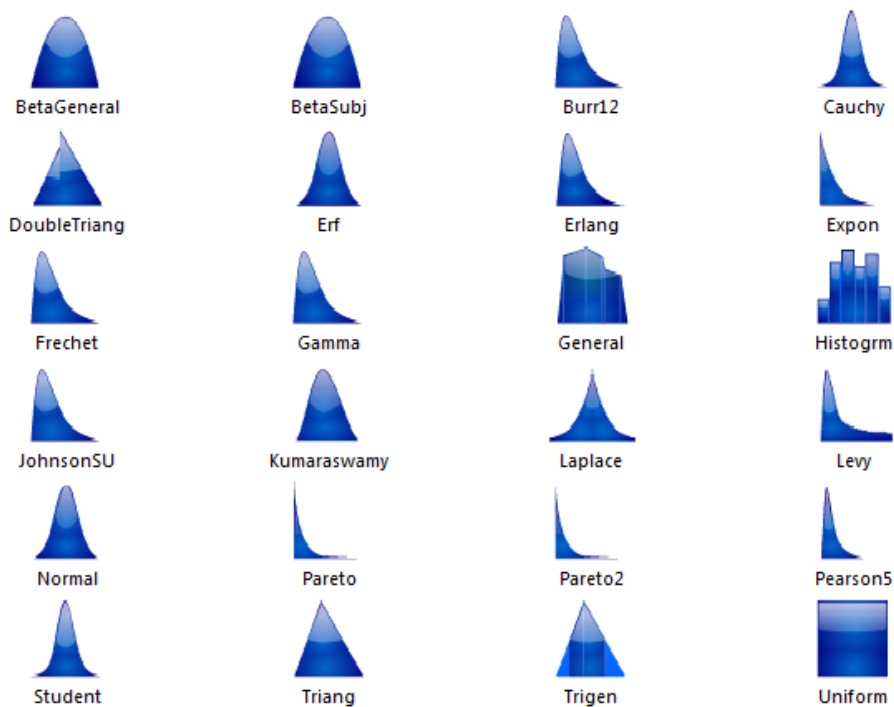
Монте Карло симулацията извършва анализ на риска чрез изграждане на модели на възможни резултати чрез заместване на набор от детерминирани стойности с разпределение на вероятностите, за всеки фактор и резултат, който има присъща несигурност. По време на Монте Карло симулация стойностите се вземат случайно от разпределението на вероятните входни данни. Всеки набор от стойности се нарича итерация и резултатът от тази проба се записва. В зависимост от броя на рисковите фактори и диапазоните, определени за тях, симулацията може да включва хиляди или десетки хиляди преизчисления, преди да е завършила. Монте Карло симулация произвежда разпределения на възможните стойности на резултата. При този метод, стойностите на променливите са представени от вероятностни разпределения и анализът зависи от способността да се изберат произволни стойности от тези разпределения. Изисква се специализиран софтуер, за да се приложи Монте Карло симулация, заради големия брой повтарящи се изчисления, участващи в процеса. По този начин симулацията Монте Карло предоставя много по-изчерпателна представа за това какво може да се случи. Тя казва не само какво може да се случи, но колко вероятно е да се случи.

Чрез вероятностните разпределения, които могат да бъдат непрекъснати или дискретни, променливите могат да имат различни вероятности за възникване на различни резултати. Част от непрекъснатите вероятностни разпределения са показани на фиг. 2. Разпределенията на вероятностите са много по-реалистичен начин за описване на несигурността в променливите, отколкото детерминирания подход, вж. [12]. Обичайните използвани вероятностни разпределения са:

- Триъгълно разпределение, дефинирано с минимум, най-вероятна стойност и максимална стойност. То може да бъде наклонено в която и да е посока, в зависимост от положението на най-вероятната стойност спрямо минималната и максималната стойност. Това вероятно разпределение е може би най-лесно разбираемото, при прилагане за основни риск модели. Недос-

тажкът му за реални приложения е, че не позволява никакви възможни стойности извън обхвата минимум-максимум.

- Бета разпределение, дефинирано с два параметъра за форма и възможни стойности от 0 до 1. Често се използва като отправна точка за извличане на други разпределения (като BetaGeneral, PERT и BetaSubjective). Има тясна връзка с биномното разпределение в контекста на Бейс, представляващо разпределение на неопределеността на вероятността p на биномен процес, базирано на наблюдения на този процес. Строителните разходи могат да се опишат с бета разпределение, както и времетраенето на работите в строителния процес, вж. [13].
- Нормално разпределение или „крива на камбаната“, при което потребителят просто определя средната или очакваната стойност и стандартното отклонение, за да опише вариацията на случайната величина. Стойностите в средата близо до средната стойност са най-вероятни. То е симетрично и описва много природни явления. Примери за променливи, описани от нормалните разпределения, включват процентите на инфлация и цените на енергията.



Фиг. 2. Непрекъснати вероятностни разпределения



Фиг. 3. Дискретни вероятностни разпределения

- Логнормалното разпределение не е симетрично като нормалното разпределение, а е с положителна асиметрия. Използва се за представяне на стойности, които не са под нулата, но имат неограничен положителен потенциал. Примери за променливи, описани от логнормални разпределения, включват стойностите на недвижимите имоти, цените на акциите и запасите от петрол.
- Правоъгълно разпределение, при което всички стойности имат еднаква вероятност да се появят и потребителят просто определя минималната и максималната. Подходящо е да се приложи, когато има оскъдна емпирична информация за променливите. Примерите за променливи, които биха могли да бъдат равномерно разпределени, включват производствени разходи или бъдещи приходи от продажби за нов продукт, вж. [14].

Дискретните вероятностни разпределения, като показаните на фиг. 3, са доста по-малко приложими при симулационни анализи за управление на строителни проекти. С дискретно разпределение може да се опише датата на завършване на определена работа от проекта, вж. [15].

Симулационният анализ Монте Карло има редица предимства пред детерминирания анализ (наричан още анализ на единичната оценка):

- Дава вероятностни резултати. Резултатите показват не само какво може да се случи, но колко вероятно е този резултат да се случи. Оценката на вероятността за настъпване на определено събитие всъщност означава да се характеризира рискът, което е много важно за решаването на редица задачи в областта на строителството.
- Методиката може да се използва при решаването на различни по характер и специфика проблеми.
- Симулация може да се провежда за всеки вид вероятностно разпределение на променливите, като при симулационния анализ може да се отчита взаимовръзката в изходните променливи.
- Резултатите са както аналитични, така и във вид на графики. Заради данните, които генерира симулация Монте Карло, е лесно да се създават графики с различни резултати и техните вероятности за възникване. Това е важно за съобщаването на констатациите на други заинтересовани страни.
- Симулацията може да е съпроводена с анализ на чувствителността. С детерминирания анализ е трудно да се види кои променливи оказват най-голямо въздействие върху резултата. Анализът на чувствителността е количествен метод, който измерва чувствителността на резултата към една или повече ключови променливи при различни техни стойности. Методът идентифицира онези входящи променливи, които допринасят най-много за риска при инвестиране в строителен проект, и дава информация за обхвата на вариране на резултата. Основният недостатък на анализа е приемането, че в даден момент е възможно само едно изменение в една входна променлива, а останалите променливи запазват най-вероятните си стойности.
- Симулацията може да е съпроводена с анализ на сценариите. При детерминираните модели е много трудно да се моделират различни комбинации от стойности за различните входни променливи, за да се видят ефектите от

действително различни сценарии. Чрез симулация Монте Карло анализаторите могат да видят точно кои входни променливи и кои техни стойности заедно, дават определени резултати. Това е много ценно за извършване на допълнителен анализ.

5. Оптимален избор на решение чрез комбиниране на „дърво на решенията“ с „Монте Карло симулация“

В настоящото изследване е предложен метод, при който се съчетават две техники за количествен анализ. Целта на този метод е да помогне на вземащия решение да избере начин на действие и да му даде възможност за по-добро разбиране на възможните резултати, които биха могли да възникнат в ситуация на риск и несигурност, каквито са най-често проблемите при управление на проекти в строителната сфера. Комбинира се инструментът вероятностен анализ за отчитане на неопределеността на входните променливи, чрез Монте Карло симулация и дърво на решенията, за да се намери оптимално решение при управление на проект, когато е необходимо извършване на анализ и вземане на решение за избор на алтернативни възможности. Методът се прилага чрез използване на софтуерни продукти @RISK и PrecisionTree, моделът се конструира в Microsoft Excel, вж. [16, 17].

Алгоритъмът на метода обхваща следните стъпки:

- Дефиниране на модела и всички променливи. Определяне на проблема или ситуацията, която трябва да се разреши. Идентифициране на съществените резултативни величини, които трябва да се анализират и критерия за избор.
- Съставяне на изходната информация за проекта и определяне на всички променливи. Разделяне на променливите на две групи променливи, такива чиито стойности са известни и такива, които имат вероятностен характер към момента на монетарната оценка. За целта се използват данни от: минал опит, експертно мнение, проведен анализ на чувствителността и др. Определяне на разпределенията за всички вероятностни променливи, които могат да бъдат с произволен вид, обхват и форма и въвеждането им в Microsoft Excel чрез @RISK.
- Разчертава се дървото на решенията, като последователно, от ляво на дясно се изобразяват възлите на решенията, възлите на шанса и крайните възли. Отражава се логическата връзка между действията и тяхната хронологична последователност с PrecisionTree и се конструира в Microsoft Excel. Видовете възли, предлагани от PrecisionTree, включват: възли на шанса, възли на решения, крайни възли, логически и референтни възли. Всеки възел има име и стойност, които трябва да се поставят в съответните клетки в електронната таблица. Няма ограничение за размера на дървото, което може да се определи, което означава, че може да се разположи и на няколко работни листа. Алгоритъмът за разчертаване на дървото се състои от две фази: конструиране на дървото и изчислителна фаза.
- Оценяват се вероятностите за всеки от „клоните“ на дървото и се въвеждат над стойностите на излизащите от възлите на шанса резултати. Възможно е

някои от вероятностите да не са зададени по условие. Тогава те трябва да бъдат изчислени допълнително.

- Изчислява се очакваната стойност (EV) за всеки от възлите на шанса, като се имат предвид възможните печалби (разходи, възвръщаемост, полезност), в зависимост от критерия, и вероятностите за получаване на всяка от възможните печалби, асоциирани с клоните на дървото. Изчисленията се правят от дясно наляво. Очакваната стойност на която и да е произволна променлива е сумата от произведенията на стойността на всеки възможен резултат, умножен по вероятността за този резултат.
- Движейки се от дясно наляво, когато се достигне до възел на решение се прави избор на решение, при което се избира клонът с по-висока очаквана печалба (по-нисък очакван разход), в зависимост от избрания критерий.
- При достигане на възела в корена на дървото се анализира модела със симулация Монте Карло чрез @RISK. Същността на симулационния анализ в контекста на вземане на решение в условията на неопределеност и риск, е да се определи вероятностното разпределение на избрания критерий за оценка на ефективността на инвестиционен проект или да се отговори на въпроса „Кое вариантно решение е икономически най-изгодно?“. Логиката на симулационния процес води до определяне на вероятностното разпределение на избрания критерий за ефективност чрез серия от повтарящи се изчисления (стъпки), наричани итерации. Анализът чрез @RISK се базира на принципа на генериране на случайни числа и използване на методите Монте Карло или Латински суперкуб, като последният е разновидност на Монте Карло.
- Вземане на решение, използвайки компютърния анализ и представените крайни резултати в графичен и аналитичен вид. Симулационните резултати, с дърво на решенията и личните предпочитания дават възможност да се направи информиран избор.

Стратегията за вземане на решение е избор на оптимален път, който е определен клон в дървото на решенията и включва всички решения и случайни събития по този път. Дървото на решенията обикновено включва две или повече възможни стратегии за вземане на решения. Една стратегия за вземане на решения се счита за предпочитана, когато стратегиите за вземане на решения могат да бъдат сравнени чрез изчисляване на техните очаквани стойности (EV) и на тази база се направи избор.

Дървото на решенията е начин да се структурират решенията, да се направят организирани и по-лесни за обясняване. Когато са изправени пред сложно решение с несигурност и риск, вземащите решения трябва да могат да организират проблема ефективно и да обмислят всичко възможно като анализират цялата налична информация, както и да представят тази информация на другите в ясен и кратък формат.

С помощта на съставения алгоритъм и софтуерните продукти @RISK и PrecisionTree е възможно лицата, вземащи решения да направят всичко това. В електронна таблица на Microsoft Excel може да се въведат всички възможни опции, печалби и загуби и да се опишат всички рискови фактори с вероятностни разпределения, като се претеглят множество цели едновременно.

6. Пример

Съставен е пример за управление на проект, при който компания иска да инвестира в производствено съоръжение, което да построи на подходящ за целта терен, който трябва да е около 600 000 m². Необходимо е да се вземе решение за избор на алтернативни проекти за рекултивация на избрания терен за инвестицията, който е силно замърсен в резултат на работеща до този момент инсталация, която е причинила значително замърсяване на почвата, повърхностните и подземните води, и влажните зони с опасни вещества. Необходимо е да се предприемат мерки за отстраняване на замърсяването до възвръщане на компонентите на околната среда до базовото си състояние.

Компанията-потенциален купувач на терена трябва да взема решение по какъв начин може да се направи рекултивация на нарушения терен и колко би струвал този неизбежен проект, така че разходите да са максимално ниски и да се прецени цената на възстановителния проект, така че да може да се договаря приемлива цена на терена с компанията-продавач.

Рекултивацията на нарушения терен обхваща комплекс от инженерно-технически, ландшафтно-устройствени и други дейности, които целят възстановяване на нарушените терени в съответствие с екологичните условия и ландшафта в района, вж. [18]. Необходимо е да се направи пречистване на подземни води, почви, повърхностни води и влажни зони. Поради наличие на поне две възможности, като проекти, за пречистване на тези компоненти трябва да се направи избор между тях и да се комбинират така възможностите, че да се отчетат вероятностите за възникване на рискови събития и техните разходи, за да се договори минимална цена за покупка на целия терен. Възможностите за избор на варианти са показани на табл. 1.

В примера е използван изложеният метод, съчетаващ дърво на решенията и симулация Монте Карло с помощта на софтуерните продукти @RISK и PrecisionTree, добавени към Microsoft Excel. Резултатът от прилагането на метода е намиране на оптимална стратегия от последователни решения за възстановяване на терена и вероятно разпределение на очакваната стойност на разходите, така че компанията-купувач на терена да договори цена, която ще включва и тези разходи и ще се вмести в рамките на предвидения бюджет на инвестиционното намерение.

Дървото на решенията се разчертава с PrecisionTree, и се избира оптималният път от дървото, който представлява последователно вземане на решения с избор между два варианта при различните етапи. Формирани са четири възела на решения, при всеки от които се прави избор между две алтернативи. От всеки възел на решение излизат по два клона, без проекта за пречистването на повърхностните води, където има само една възможност и няма избор.

Възлите на шанса са точки при които дървото на решенията се разклонява на база различните възможни резултати от предприетите действия, например при възел на решението „пречистване на подземни води“, където едната възможност е да се избере проект за непронупклива стена (а другата е проект за реактивна бариера), възникват две опции с различни вероятности: 30% вероятност за неуспех на проекта за непронупклива стена и 70% вероятност за успех. Разходите при неуспех биха били 3,365 млн. лв. (клетка D32 на фиг. 4).

Определени са всички входни вероятностни променливи в модела, показани в табл. 2, представляващи различните разходи за рекултивация на терена. Всяко решение и резултат от решението със съответна вероятност е оценено като разходи в млн. лв. първоначално с детерминираната си стойност, в колона E2:E10, в табл. 3.

Таблица 1. Алтернативни проекти за рекултивация на нарушения терен

Подземни води	Почви	Повърхностни води	Влажни зони
Непропусклива стена	Защитно покритие от почва/асфалт	Депо за драгажни маси	Възстановяване
Реактивна бариера	Защитен екран		Смекчаване

Таблица 2. Входни вероятностни променливи в модела

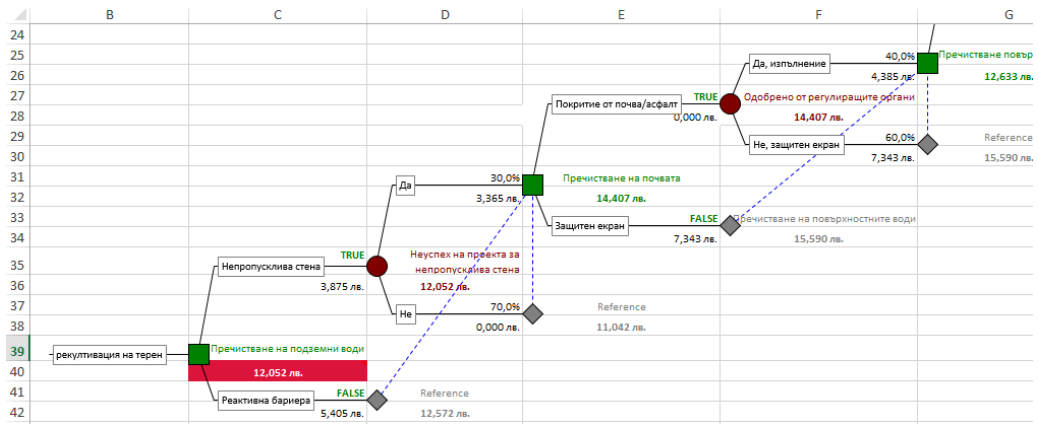
Name	Cell	Graph	Function	Min	Mean	Max
Непропусклива стена	C3		RiskTrigen(E3*(1+D3);E3;E3*(1+F3);G3;H3)	3,219	3,875	4,607
Реактивна бариера	C4		RiskTrigen(E4*(1+D4);E4;E4*(1+F4);G4;H4)	4,490	5,405	6,425
Неуспех на проекта за непропусклива стена	C5		RiskTrigen(E5*(1+D5);E5;E5*(1+F5);G5;H5)	2,796	3,365	4,000
Защитно покритие от почва/асфалт	C6		RiskTrigen(E6*(1+D6);E6;E6*(1+F6);G6;H6)	3,643	4,385	5,213
Защитен екран	C7		RiskTrigen(E7*(1+D7);E7;E7*(1+F7);G7;H7)	6,100	7,343	8,728
Депо за драгажни маси	C8		RiskTrigen(E8*(1+D8);E8;E8*(1+F8);G8;H8)	0,593	0,714	0,849
Смекчаване на замърсяването на влажните зони	C9		RiskTrigen(E9*(1+D9);E9;E9*(1+F9);G9;H9)	0,169	0,204	0,242
Възстановяване на влажните зони	C10		RiskTrigen(E10*(1+D10);E10;E10*(1+F10);G10;H10)	0,254	0,306	0,364

Таблица 3. Параметри на RiskTrigen разпределение

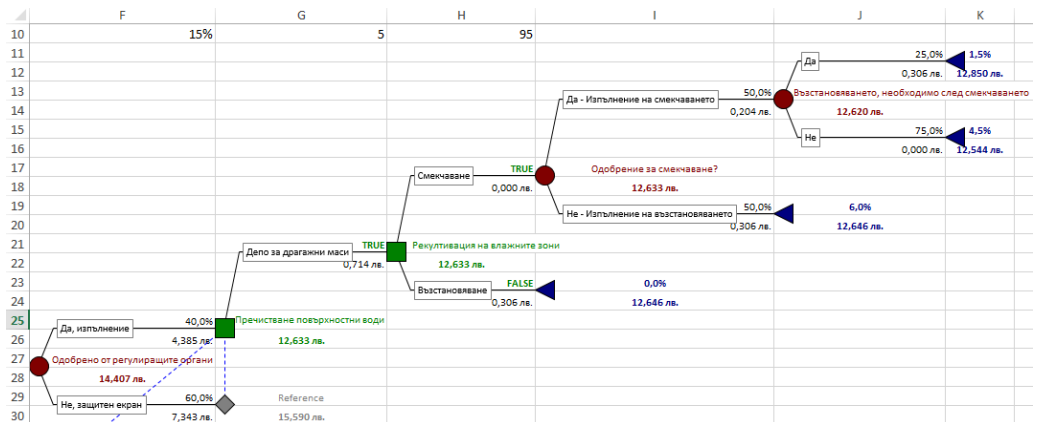
	B	C	D	E	F	G	H
2	Разходи (входни променливи , млн. лв)			Parameters of Trigen distributions			
3	Непропусклива стена	3,875	-10%	3,800 лв.	15%	5	95
4	Реактивна бариера	5,405	-10%	5,300 лв.	15%	5	95
5	Неуспех на проекта за непропусклива стена	3,365	-10%	3,300 лв.	15%	5	95
6	Защитно покритие от почва/асфалт	4,385	-10%	4,300 лв.	15%	5	95
7	Защитен екран	7,343	-10%	7,200 лв.	15%	5	95
8	Депо за драгажни маси	0,714	-10%	0,700 лв.	15%	5	95
9	Смекчаване на замърсяването на вл. зони	0,204	-10%	0,200 лв.	15%	5	95
10	Възстановяване на влажните зони	0,306	-10%	0,300 лв.	15%	5	95

В електронната таблица всички входни вероятностни променливи са зададени с Trigen вероятностно разпределение с прилагане на софтуерния продукт @RISK 7.5. Trigen разпределението компенсира основния недостатък на Триъгълното разпределение

и е определено с пет параметъра: RiskTrigen (долна стойност, най-вероятна стойност, горна стойност, долен процент, горен процент). На практика RiskTrigen определя триъгълно разпределение с три точки: една най-вероятна стойност и две при посочените долни и горни проценти. Параметрите долен процент и горен процент са стойности между 0 и 100. Те представляват кумулативни вероятности за горната стойност и долната стойност. Това е полезно, защото позволява стойности под долната стойност или над горната стойност да бъдат възможни стойности за разпределението, т.е. тези два параметъра не определят „абсолютната“ най-ниска и най-висока стойност за разпределението. В табл. 2 клетки G3:G10 са с вероятност 5%, а клетки H3:H10 са с вероятност 95%, което означава, че 95-ти перцентил е точката, под която попадат 95% от случаите, а 5-ти перцентил е стойността, под която са 5% от наблюденията. Параметрите долна и горна стойност са определени като процент от детерминираната (най-вероятна) стойност, съответно 10% надолу и 15% нагоре от нея. Процентите са избрани на база експертно мнение, поради липса на емпирична информация, като всички параметри са показани в табл. 3.



Фиг. 4. Първата половина от дърво на решението за рекултивация на терен



Фиг. 5. Втората половина от дърво на решението за рекултивация на терен

Съществуват и редица вероятности, изброени в табл. 4, които са част от входните данни в модела, представляващи вероятности на клоните, излизащи от всеки възел на шанса в съставеното дърво на решения.

Таблица 4. Входни вероятности в модела

Неуспех на непропускливата стена	30%
Одобрение на защитно покритие от почва/асфалт	40%
Одобрение на смекчаване на замърсяването на влажните зони	50%
Възстановяване, необходимо след смекчаване на замърсяването на влажните зони	25%

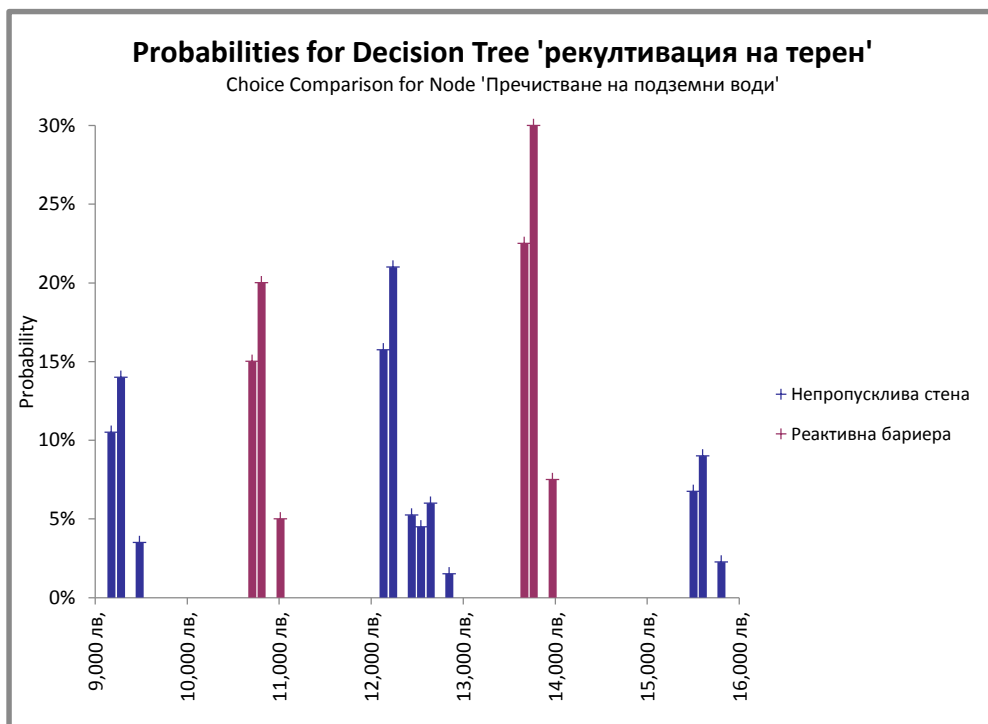
Елементите на дървото на решения за възможни стратегии на действие е със стойности и вероятности, свързани с входните променливи от табл. 2, 3 и 4. Има и няколко „референтни“ възли в дървото, които показват точни копия на части от дървото и се използват, за да направят дървото по-компактно, без повтарящи се клонове.

На фиг. 4 и фиг. 5 може да се проследи оптималният път от дървото, където са TRUE клетките. Оптималната стратегия е избрана на база на този път от дървото, който е с най-ниска очаквана стойност на разходите. Дървото е разделено приблизително на две половини с цел по-добра визуализация на всички клонове. Критерият за вземане на решение е минимални загуби, тъй като всички парични стойности са разходи.

След крайния възел е показана вероятността и стойността на всички възможни пътища, от които се избира оптималният. Вероятността на пътя се получава като се умножат вероятностите на всички клонове по този път, а стойността се получава чрез сумиране на стойностите на разходите на всички клонове от този път. Например стойността на пътя в клетка K12 е 12 850 млн. лв., получено като сума от стойностите на всички разходи от клоните на този път: $3,875 + 3,365 + 4,385 + 0,714 + 0,204 + 0,306$, в млн. лв.

Изборът на вариант за решение с метода дърво на решенията се обосновава с изчисляване на очакваната стойност на разхода. Изчисленията се правят отлясно наляво. Очакваната стойност в най-крайния възел на шанса, в клетка J14, се изчислява по следния начин: $0,25 \times 12,850 + 0,75 \times 12,544 = 12,620$ млн. лв. Очакваната стойност, във възел в клетка I18, се изчислява по следния начин: $0,50 \times 12,620 + 0,50 \times 12,646 = 12,633$ млн. лв. Следва избор на решение във възел на решение „рекултивация на влажните зони“ (H21). Избира се действието „смекчаване“, което има по-ниска очаквана стойност на разхода, т.е. 12,633 млн. лв. пред действието „възстановяване“ с очаквана стойност на разхода 12,646 млн. лв. Тази логика на изчисленията продължава до корена на дървото-възел на решенията, където трябва да се прави последния, избор на алтернатива и това е проектът за непропусклива стена с очаквана стойност на разхода 12,052 млн. лв. в клетка C40. За сравнение, алтернативният проект за реактивна бариера е с по-висока очаквана стойност на разхода 12,572 млн. лв. (клетка D42). Оптималният път е показан в табл. 8, като последователност от вземане на решения и ползата от избора му като разлика между оптималния път и най-лошия път, който в случая е и вторият възможен път от дървото на решенията за рекултивация на терен.

Риск-профилът на дървото на решението във вид на дискретно вероятностно разпределение е на фиг. 6, а всяка стойност от графиката и съответстващата му вероятност, за двата възможни пътя, е показана в табл. 5. Риск-профилът дава информация за последствията от следването на предложения път и възможните разходи и асоциираните с тях вероятности за всяка стратегия на решение, като с червено е за проекта за „реактивна бариера“ (РБ), а със синьо за проекта за „непропусклива стена“ (НС).



Фиг. 6. Риск-профил на дървото на решението – вероятностна диаграма

Таблица 5. Данни за риск-профила на алтернативните проекти в корена на дървото

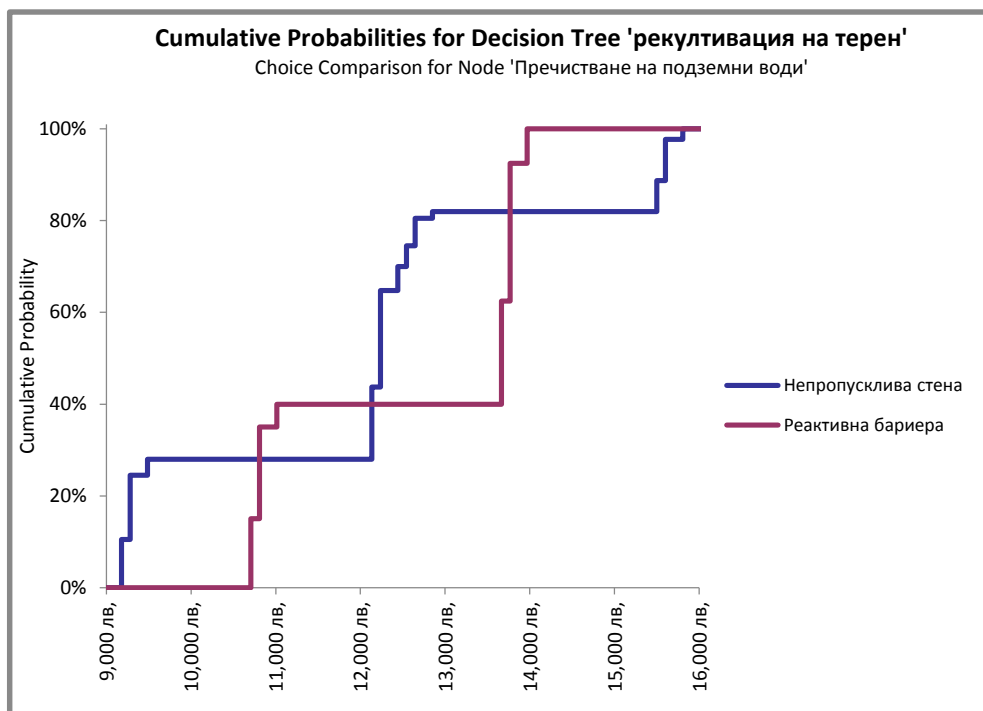
Chart Data				
	Непропусклива стена		Реактивна бариера	
	Value	Probability	Value	Probability
#1	9,178 лв.	10,5000%	10,708 лв.	15,0000%
#2	9,280 лв.	14,0000%	10,810 лв.	20,0000%
#3	9,484 лв.	3,5000%	11,014 лв.	5,0000%
#4	12,136 лв.	15,7500%	13,665 лв.	22,5000%
#5	12,238 лв.	21,0000%	13,767 лв.	30,0000%
#6	12,442 лв.	5,2500%	13,971 лв.	7,5000%
#7	12,544 лв.	4,5000%		
#8	12,646 лв.	6,0000%		
#9	12,850 лв.	1,5000%		
#10	15,501 лв.	6,7500%		
#11	15,603 лв.	9,0000%		
#12	15,807 лв.	2,2500%		

Кумулативното вероятностно разпределение на фиг. 7 има принос, като информация, за вероятността разходът да е по-малък или равен на съответстваща стойност по оста X.

От статистическите резултати за възможните стратегии на решения, в табл. 6, ясно се вижда по-ниската очаквана стойност на разхода за решението НС в размер на 12,052 млн. лв. пред по-скъпия вариант РБ, с разход 12,572 млн. лв. Ако наблюдаваме, обаче, стойността на стандартното отклонение при РБ, то има по-малка стойност – 1,452 млн. лв., докато вариацията при НС е по-голяма в размер на 2,118 лв. Това предполага много внимателно да се следят ключовите входни променливи, които влияят на стойността на очаквания разход. За да се разбере кои са тези ключови променливи, може да се използва анализ на чувствителността.

Предимството да се избере предложеният от дървото на решенията оптимален път дава ползи под формата на спестени разходи в размер на 1,716 млн. лв. Спестените разходи са сума на стойностите от последната колона на табл. 7. Аналогична е сумата и в предпоследната колона на същата таблица, поради факта, че възможните стратегии на решения в примера са само две и втората по-добра стратегия съвпада с най-лошата стратегия.

От анализа до тук стана ясно, че вариацията на очаквания разход при избор на решението НС е по-голямо и стойностите варират от 9,178 млн. лв. до 15,807 млн. лв., докато при алтернативата РБ вариацията е в обхвата от 10,708 млн. лв. до 13,971 млн. лв. Изводът е, че избраният проект за НС, макар и с по-ниски очаквани разходи, е по-рисков спрямо втората алтернатива и окончателният избор ще зависи от личните предпочитания и склонността към риск на лицето, вземащо решение.



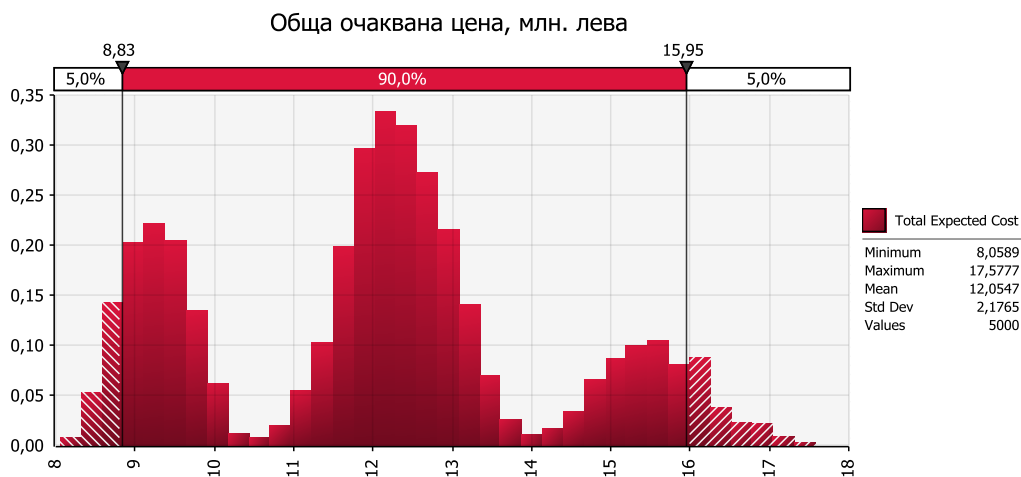
Фиг. 7. Кумулативни вероятностни разпределения

Таблица 6. Статистически резултати за възможните стратегии на решения

Statistics	Непропусклива стена, в млн. лв.	Реактивна бариера, в млн. лв.
Mean	12,052 лв.	12,572 лв.
Minimum	9,178 лв.	10,708 лв.
Maximum	15,807 лв.	13,971 лв.
Mode	12,238 лв.	13,767 лв.
Std. Deviation	2,118 лв.	1,452 лв.
Skewness	0,2064	-0,4053
Kurtosis	2,2507	1,1822

Таблица 7. Оптимален път на дървото на решението

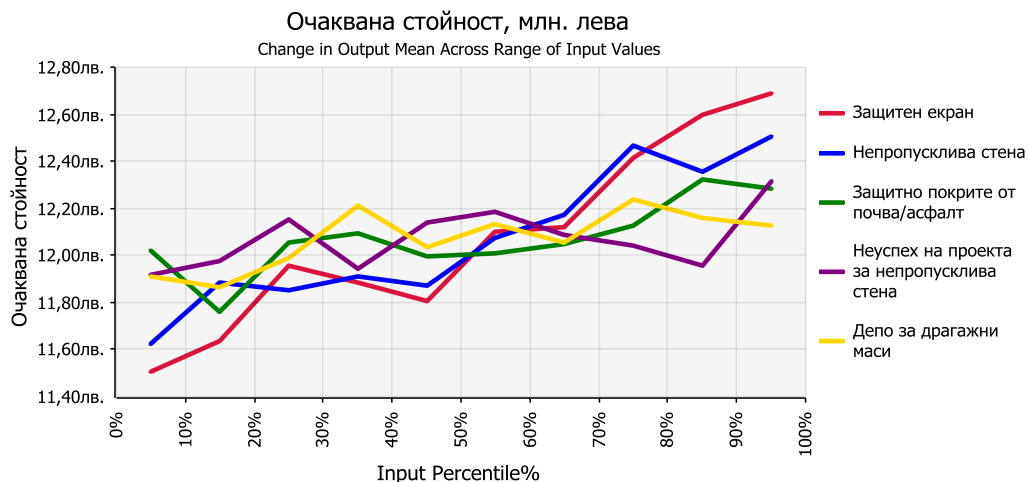
Decision	Optimal Choice	Arrival Probability	Benefit of Correct Choice (Best - Worst)	Benefit of Correct Choice (Best - Second Best)
'Пречистване на подземни води' (C40)	Непропусклива стена	100,0000%	-0,520 лв.	-0,520 лв.
'Пречистване на почвата' (E32)	Покритие от почва/асфалт	30,0000%	-1,183 лв.	-1,183 лв.
'Пречистване повърхностни води' (G26)	Депо за драгажни маси	12,0000%	0,000 лв.	-
'Рекултивация на влажните зони' (H22)	Смекчаване	12,0000%	-0,013 лв.	-0,013 лв.



Фиг. 8. Вероятностно разпределение на очакваната стойност

Пълна и максимално достоверна информация за диапазона на разсейване на стойностите на очаквания разход за избраната алтернатива дава симулационният анализ. Симулационният анализ Монте Карло, изпълняван с @RISK, има за резултативна величина вероятностното разпределение на общата очаквана цена на проекта за непропусклива стена (клетка C40). Анализът е изпълнен с 5000 итерации. Вероятностното разпределение, получено в резултат от симулацията, е на фиг. 8. Очакваната стойност на разхода е почти същата като тази без симулационен анализ 12,055 млн. лв., но минималната и максималната стойност имат по-големи отклонения от средната, съответно 8,059 млн. лв. и

17,578 млн. лв. Изразено в проценти, разликата е приблизително 14% разширение на диапазона наляво и около 11% увеличение надясно. Процентите са в полза на достоверността на данните за риск на проекта.



Фиг. 9. Анализ на чувствителността за резултативната променлива

Съвместяването на двете техники симулация Монте Карло и дърво на решението позволява при настройването на модела и провеждането на симулацията да се използват всички стойности от оптималния път в модела, а не само очакваните стойности на разходите. При всяка итерация стойността на резултативната величина ще бъде от произволно избрани стойности от оптималния път, получен с PrecisionTree, т.е. това ще бъде действителният общ разход или цена, която компанията може да има като информация, като следва оптимална стратегия на решение.

Диференциалната крива от симулацията показва, че около 54% от всички наблюдения или стойности на разходите попадат в обхвата от около 10,6 млн. лв. до 14,05 млн. лв. Почти 28% от случаите попадат в обхвата от 8 млн. лв. до 10,45 млн. лв., което е най-оптимистичният вариант за проекта. Най-песимистичният вариант е в обхвата от 14 до около 17 млн. лв. и в този случай попадат около 18% от наблюденията. За да имат пълен контрол върху ситуацията, анализаторите трябва да са наясно кои от входните променливи са ключови и влияят в най-голяма степен на резултата. За целта е проведен анализ на чувствителността, показан на фиг. 9, от който се вижда как промяната на входните променливи, в проценти, влияе на общата цена на проекта. В случая, ключовите входни променливи са разходите за: защитен екран, НС, защитно покритие от почва/асфалт и други с по-малко значение. Тези входни променливи са най-важни за точната монетарна оценка на проекта и тяхното управление трябва да бъде особено прецизно, за да не се стига до песимистичен вариант на разходите за проекта.

Включването на риск анализ позволява да се определят допълнителните разходи, необходими за достигане на оценка на разходите с изискваното ниво на доверителност (вероятност) и от там да се състави по-правдоподобен бюджет на проекта. Съставянето на бюджет с определено ниво на доверителност дава възможност да се отчете отношението към риска и да се избере такава стойност, която е в зоната на комфорт на лицето, вземащо решение.

7. Заключение

Реализирането на инвестиционни проекти е свързано с големи финансови средства. Това особено се отнася за строителните инвестиционни обекти. Преди започване на реализацията на проекта е необходимо да се направят подробни проучвания, които засягат технически, социални, икономически, екологически и други въпроси. Особена тежест придобиват икономическите и монетарни проучвания като в нашата и световна практика се оценява финансовата и икономическата ефективност на инвестициите, необходими за реализирането на проектите. Ефективността включва определянето на прекия резултат от осъществяването на дадена дейност като при определянето ѝ се използват общоприети финансови величини като: приходи, разходи, доход, печалба и др.

Анализът на риска е част от всяко решение, което правим. Ние постоянно сме изправени пред несигурност, неяснота и променливост. И въпреки, че имаме безпрецедентен достъп до информация, не можем точно да предвидим бъдещето. Монте Карло симулацията (известна също като Монте Карло метод) позволява да се видят всички възможни резултати от решенията и оценката на въздействието на риска, което дава възможност за по-добро вземане на решения в условия на риск и несигурност.

Изборът на точния проект за бъдеща инвестиция е важен за дългосрочното оцеляване на една фирма. Ефективността и оценката на риска са двата основни елемента при анализа на проектите за инвестиране в строителната сфера. Дървото на решенията е една от техниките, с която може да се извърши такъв избор, а симулационният анализ е инструмент за оценка на риска на базата на получените вероятностни разпределения и техните статистически данни.

В настоящото изследване е предложен метод за вземане на решение с прилагане на дърво на решенията и вероятностен анализ за отчитане на неопределеността на входните променливи, чрез Монте Карло симулация. Методът дават възможност да се направи оптимален избор при алтернативни проекти, оценявайки очакваната стойност на проектите и техния риск по интегриран начин на базата на една и съща информация с вероятностен характер. Предложен е пример с анализ и вземане на решение при избор на алтернативни проекти, като стратегия за управление на проект за рекултивация на нарушен терен. Комбиниран е симулационен анализ с дърво на решенията, за да се намери оптимално решение с критерий най-ниска очаквана стойност на разходите за възстановяване на терена. Използвани са софтуерни продукти @RISK и PrecisionTree на американската компания Palisade Corporation.

Може да се направи следното обобщение:

- Монетарната оценка на инвестиционни строителни проекти е свързана с голям риск поради вероятностния характер на факторите, които определят оценката.
- Прилагането на вероятностен анализ при определяне на оценката на инвестиционни строителни проекти води до усъвършенстване на съществуващата методика и е предпоставка за вземане на по-рационални управленски решения.
- Чрез използване на дърво на решенията с Монте Карло симулация, може да се направи характеристика на риска, посредством която да се вземат оптимални решения за приемане или отхвърляне на даден проект, а също и за избор на най-ефективно решение.

- Анализът на чувствителността дава ясна представа за онези входни вероятностни променливи с най-голямо влияние върху очакваната стойност на разпределението на резултативната величина при симулационния анализ и чрез него може да се повлияе върху риска на проекта.
- Чрез комбиниране на софтуерни продукти @RISK и PrecisionTree могат да се определят оптимални стратегии за вземане на решения с риск анализ, нерешими досега с традиционните методи.

Благодарности

Благодарности на Центъра за научни изследвания и проектиране към УАСГ, който закупи софтуерен пакет The DecisionTools Suite, индустриалната версия, с интегриран набор от програми за анализ на риска и вземане на решения при несигурност. The DecisionTools Suite съдържа @RISK 7.5 и PrecisionTree и беше закупен в рамките на работата по научноизследователски проект към УАСГ – ЦНИП БН 185/2016.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Манчева, Ж.* Управление на риска в строителните проекти. Експертпринт, София, 2014.
2. *Baird, B.* Managerial Decisions Under Uncertainty: An Introduction to the Analysis of Decision Making. John Wiley & Sons, 1989.
3. *Savage, S.* Decision Making with Insight. OH: South-Western College Publishing, 2003.
4. *Манчева, Ж.* Риск анализ при финансова оценка на инвестиционни проекти в строителството. Международна научно-приложна конференция УАСГ, София, 2009.
5. *Cockett, J., Herrera, J.* Decision tree reduction. Journal of the Association for Computing Machinery (JACM), 37 (4), 1990.
6. *Winston, W., Albright, S.* Practical Management Science. OH: South-Western College Publishing, 2006.
7. *Flanagan, R., Norman, G.* Risk Management and Construction. London, UK: Blackwell Science Ltd, 1993.
8. *Desai, V. S., Joshi, S.* Application of Decision Tree Technique to Analyze Construction Project Data. Information Systems, Technology and Management. ICISTM 2010. Communications in Computer and Information Science, vol 54. Springer, Berlin, Heidelberg.
9. *PMI.* Ръководство за система от знания за управление на проекти. (PMBOK GUIDE), Четвърто издание (превод от англ. език), Класика и стил, София, 2011.
10. *Dez, P.* Project risk management using multiple criteria decision-making technique and decision tree analysis: a case study of Indian oil refinery. Journal Production Planning & Control The Management of Operations, 23 (12), 2012.
11. *Eckhardt, R.* Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo method. Los Alamos Science, Special Issue (15): 131 – 137, 1987.
<http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-88-9068>.

12. Law, A. M. Simulation Modeling and Analysis, 3rd ed.: McGraw-Hill, New York, NY, 2014.

13. Манчева, Ж. Избор на подходящо вероятностно разпределение за моделиране на строителните разход. // сп. Строителство, 2, 2002.

14. Манчева, Ж. Probabilistic approach to establishing a bid price for infrastructure projects. Четвърта международна конференция БУЛАКВА 2011 – Развитието на водния сектор – предизвикателства и възможности, 13 – 14 април 2011 г., София.

15. Манчева, Ж. С. Вероятностен подход при съвместен анализ на разходите и календарното планиране за изпълнение на строителен проект. Международна научно-приложна конференция УАСГ, София, 29 – 31 октомври 2009 г. (включен и в Годишник на УАСГ, София 2011, свитък IX, том XLIV, ISSN 1310-814X).

16. Palisade Corporation. User's Guide. @RISK. Risk Analysis and Simulation. Add-In for Microsoft® Excel, 2016.

17. Palisade Corporation. User's Guide. PrecisionTree. Decision Analysis Add-In. For Microsoft® Excel, 2013.

18. Закон за опазване на околната среда. Обн. ДВ бр. 91 от 25 септември 2002 г., посл. изм. ДВ бр. 58 от 18 юли 2017 г.

DECISION MAKING IN CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT THROUGH A DECISION TREE AND PROBABILISTIC ANALYSIS

J. Mancheva¹

Keywords: manuscript, preparation, typeset, format

ABSTRACT

Decision-making on investment project management is in risk and uncertainty in most cases. The present study proposes a decision-making approach with application of a decision tree and a probabilistic analysis to account for the uncertainty of input variables through Monte Carlo simulation. An example of analysis and decision making is proposed in selecting alternative projects, such as a project management strategy for recultivation of disturbed terrain. A simulation analysis is combined with a decision tree to find an optimal solution with the criterion: the lowest expected cost of restoring the site. Software products @RISK and PrecisionTree of the American company Palisade Corporation have been used.

¹ Julieta Mancheva, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: eng.mancheva@gmail.com