



Получена: 14.05.2021 г.

Приета: 16.08.2021 г.

## АНАЛИЗ НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТТА НА РАЗХОДИТЕ ПРЕЗ ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ НА СГРАДИ

Ж. Манчева<sup>1</sup>

*Ключови думи:* експлоатационни разходи, вероятностни разпределения, неопределеност, хипотези, статистики

### РЕЗЮМЕ

Статията предлага инструмент за отчитане на неопределеността на разходите, които са основен показател през целия жизнения цикъл на инвестиционен строителен проект. Анализират се основните разходи през експлоатационния период на жилищни сгради. На основата на емпирична информация за енергопотребление и разход на вода на осем жилищни сгради се определя на кое теоретично вероятностно разпределение се подчиняват експлоатационните разходи. Прилага се статистическа процедура за избор на най-подходящите вероятностни разпределения от определен набор хипотетични теоретични разпределения. За намиране на параметрите на вероятностните разпределения е използван специализиран софтуер.

### 1. Въведение

Инвестиционните строителни проекти се характеризират с високи капиталови разходи и дълъг срок на експлоатация. Тези характеристики правят прогнозите за бъдещи разходи по-трудни и излагат инвестиционния проект на висок бизнес, финансов и оперативен риск. Това изисква включване на анализ на риска и неопределеността, чрез вероятностни разпределения, в методите за оценка на ефективността на проекти, по отношение на допусканията за бъдещи разходи, нивото на нарастване на разходите, бъдещото ниво на инфлация, приходи и очаквания живот на компонентите на сградата и инсталациите [1, 2].

---

<sup>1</sup> Жулиета Манчева, проф. д-р инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1164 София, e-mail: mancheva\_fce@uacg.bg

Правени са научни изследвания за описване на строителните процеси, етапи и параметри с вероятностни разпределения, например за циклични строителни процеси, товаро-разтоварни работи, земни работи, за продължителността на работите, при геотехническо проучване на обекта и др. [3 – 5]. Надвишаването на разходите за инвестиционен строителен проект е типичен проблем за всички инженерни проекти, независимо от техния размер [6, 7].

Изследванията констатираат, че вероятностното разпределение на строителните разходи и на разходните компоненти са с положителна асиметрия или с дясно изтеглено рамо на кривата. Някои автори прилагат триъгълно разпределение за моделиране на разходните компоненти с цел опростяване на изчисленията и субективно определяне на параметрите чрез експертни оценки [8, 9]. Триъгълното разпределение се използва и при наличие на малко на брой емпирични данни, като се съпоставят различни методи за оценка на параметрите му [10]. Отдават се предпочитания и на логнормалното разпределение, като по-добре описващо емпирични данни за строителни разходи на 216 дву- и повече етажни офис сгради за 14-годишен период в Обединеното кралство [11]. Последният източник изследва само логнормалното и бета разпределение, като ги сравнява и използва  $\chi^2$ -тест за проверка на статистическата хипотеза за валидност на теоретичното разпределение. Субективно премахва част от данните при провеждане на теста, но не и при изследване на теоретичните разпределения. В други английски изследвания доминира мнението за бета разпределението като най-подходящо [12]. В американски изследвания статистически се тестват няколко разпределения, включително и бета, и се установява, че логнормалното разпределение е най-добре описващо данните в почти всички случаи. В английско изследване на различните разходи през целия жизнен цикъл на болнични сгради разходите свързани с капитални инвестиции, са описани с логистично разпределение [13]. Данните са от над 450 университетски отделения за интензивни грижи в Англия и Уелс. Интересно изследване, отново в Обединеното кралство, има на разходите за поддръжка на сградите на държавни спортни центрове [14]. Използван е стохастичен модел, даващ като резултат разпределението на Вейбул като най-подходящо за описание на този вид разходи, които са в тясна зависимост от строителните разходи. Научните изследвания в голяма степен са концентрирани за изучаване на разходите в доексплоатационния период, и значително по-малко на разходите по време на използване на сградите.

Съществуват достатъчно данни за високата степен на несигурност в строителните разходи и в експлоатационните разходи, които са основна част от всеки инвестиционен проект. Това е едно от основанията те да бъдат характеризирани с вероятностни разпределения. Всички видове вероятностни разпределения от цитираните източници са включени като потенциално подходящи за описване на разходите по време на експлоатация на сгради в настоящото изследване.

## **2. Разходи през жизнения цикъл на жилищна сграда**

Анализът на разходи през жизнения цикъл (Life-cycle cost analysis (LCCA)) е функционален метод за процеса на оценка на разходи и подпомага намирането на най-добрите решения за намаляване на общите разходи в контекста на нарастващото внимание към устойчивото развитие. Методът е надежден за прогнозиране и оценка на общите средства, необходими за един строителен проект по време на неговите етапи и дава възможност за избор на най-икономичното решение, отчитайки разходите през целия живот на проекта [15, 16]. Оптимизирането на разходите през жизнения цикъл изисква по-

високи инвестиции (първоначални разходи), за да се благоприятстват ниските разходи за поддръжка и енергия в дългосрочен план. Това, често, е в противоречие с бюджета на проекта, изготвен по общоприетите методи.

Прилагането на метода LCCA прави прозрачна стойността на една сграда в течение на целия ѝ живот, в т.ч. инвестиции, поддръжане, реконструкция и крайно премахване. LCCA може да се приложи на различни етапи от живота на сградата, но най-ефективно е да се използва по време на етапа на проектиране [17]. Основният проблем, свързан с прилагането на LCCA, е изискването да може да се прогнозира далеч напред, което предполага включването на вероятностно моделиране на разходите [18, 19].

Приложеният в настоящия доклад вероятностен подход при оценка на част от експлоатационните разходи през жизнения цикъл на сгради ще даде възможност да се подобри прогнозата на разходните компоненти на сградата и да се прилагат стохастични модели за финансово оценяване. Сгради, които са проектирани и конструирани след вероятностна оценка на разходите през жизнения цикъл на сградата, носят преки икономически ползи, като по-ниски оперативни разходи и разходи за поддръжка, по-бавна амортизация и по-висока стойност на активите. Проектирането на строителния обект в съответствие с принципите на LCCA се изисква от гледна точка и на контрол на разходите.

### **3. Процедура за определяне на подходящо теоретично вероятностно разпределение за експлоатационни разходи на сгради**

Определянето на закона за разпределение на генералната съвкупност от експлоатационни разходи е свързано с решаването на следните задачи.

- да се определят теоретични (хипотетични) разпределения, които са най-близки по-форма до емпиричните;
- да се определят параметрите на тези теоретични разпределения;
- да се тества статистическата хипотеза за валидност на тези теоретични разпределения при моделиране на изменението на разходите и определяне на най-подходящото от тях.

Определянето на закона за разпределение на генералната съвкупност от експлоатационни разходи на сгради ще позволи съставянето на стохастични модели за оценка на разходи и използване на вероятностен подход при изчисляване на разходи през жизнения цикъл на обекти от сградно строителство.

#### **3.1. Определяне на хипотетични вероятностни разпределения и техните параметри**

Прието е експлоатационните разходи за жилищни обекти да се описват с непрекъснато разпределение, защото могат да приемат всякакви стойности в дефинирани граници. Има няколко най-използвани метода за оценка на параметрите на теоретичните разпределения. Това са методите на моментите, на максималното правдоподобие, на най-малките квадрати и др. Ако са извършени  $n$  случайни наблюдения над статистическата променлива  $X$ , в случая разходите за експлоатация на сграда, може да се получи извадка с обем  $n$ :  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . След получаване на вариационния ред  $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}$

$(x^{(1)} \leq x^{(2)} \leq \dots \leq x^{(n)})$  може да се намери статистическата функция на разпределение и да се построи нейната графика. От вида на графиките и числовите им характеристики може да се направи предположение за вида на разпределението на случайната величина  $X$ .

### 3.2. Проверка на хипотеза за вида на разпределението

За всяко от избраните теоретични разпределения се дефинира и подлага на проверка нулевата хипотеза за съгласуваност на емпиричното с теоретичното разпределение, т.е. предполага се нулева или почти нулева разлика между разпределението, получено от емпирични данни, и предполагаемото теоретично разпределение, което би трябвало да отговаря на изменението в генералната съвкупност. Има различни критерии за проверка на тази съгласуваност [20, 21].

В разработката се използват тестове за пригодност или съгласие, и се използват статистики, базирани на емпиричната функция на разпределение (EDF). Разглеждат се три от водещите статистики, обозначаващи с  $D$  (Колмогоров–Смирнов),  $A^2$  (Андерсен–Дарлинг) и  $\chi^2$  критерий на Пирсън [22, 23]. За конкретния случай, когато теоретичното вероятно разпределение е непрекъснато и напълно определено, EDF статистиките са силен инструмент за проверка на нулевата хипотеза.

#### 3.2.1. $\chi^2$ критерий на Пирсън

След анализ на статистическите данни може да се направи непараметричната основна хипотеза  $H_0$ :  $X$  има функция на разпределение  $F_0(x)$  (плътност на разпределение  $f_0(x)$ ), при алтернативна хипотеза  $H_1$ :  $X$  има функция на разпределение  $F_1(x) \neq F_0(x)$  (плътност на разпределение  $f_1(x) \neq f_0(x)$ ).

Един от най-използваните начини за проверка на тази хипотеза е посредством критерия  $\chi^2$  на Пирсън. вж. форм. (1).

$$\chi_0^2 = \sum_{k=1}^m \frac{(n_k - np_k)^2}{np_k}. \quad (1)$$

Процедурата за прилагане на критерия  $\chi^2$  за проверка на хипотезата  $H_0$  е следната:

1. Намират се оценките за неизвестните параметри на предполагаемия закон за разпределение  $F_0(x)$ ;

2. При условие, че  $X$  има функция на разпределение  $F_0(x)$  (плътност на разпределение  $f_0(x)$ ) се определят теоретичните вероятности  $p_k = P(X \in I_k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ .

3. Пресмята се наблюдаваната стойност на критерия.

4. При избрано ниво на значимост  $\alpha$  се определя квантилът  $\chi_{1-\alpha}^2(f)$ , където  $f = m - r - 1$  е степента на свобода на разпределението  $\chi^2$ ;  $m$  е окончателният брой на честотите в съответната таблица;  $r$  е броят на параметрите на теоретичното разпределение, които са определени с помощта на извадката.

5. Взема се решение:

Ако  $\chi_0^2 < \chi_{1-\alpha}^2(f)$ , то основната хипотеза  $H_0$  се приема с доверителна вероятност  $p = 1 - \alpha$ .

Ако  $\chi_0^2 \geq \chi_{1-\alpha}^2(f)$ , то основната хипотеза  $H_0$  се отхвърля.

Критерият за съгласие на Пирсън е основен метод за оценка на хипотези, отнасящи се към самото статистическо разпределение. Такива хипотези, ако те се интерпрети-

рат в духа на нулевата хипотеза, се заключават в предположението, че разликата между фактическите и очакваните разпределения е обусловена само от случайности.

### 3.2.2. Статистики на емпиричната функция на разпределение

Използваме част от клас от критерии, наричани EDF статистики, а именно теста на Колмогоров–Смирнов и теста на Андерсен–Дарлинг.

Статистиката на Андерсен–Дарлинг се изчислява като се измерва разликата между теоретичното и емпиричното разпределение. Тя дава по-голяма тежест на опашките на разпределението, вж. форм. (2).

$$A^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(F_n(x) - F(x))^2}{F(x)(1 - F(x))} dF(x), \quad (2)$$

където  $n$  е броят на елементите в извадката;

$F$  – хипотетичното разпределение;

$F_n$  – емпиричната (извадкова) кумулативна функция на разпределението на случайната величина  $x$ .

Колмогоров–Смирнов критерият може да бъде използван за проверка на това дали дадена извадка има предполагаемо непрекъснато разпределение  $F(x)$ , като се дефинират променливите или символите със съответните мерни единици. Предимството на този тест пред  $\chi^2$ -теста е, че се избягва дискретизацията. Слабостта му е, че точността се центрира в средата на извадката и може да бъде използван само за непрекъснати разпределения.

## 4. Практически резултати при анализ на експлоатационни разходи на жилищни сгради

Настоящото изследване е проведено през експлоатационната фаза от жизнения цикъл на жилищни сгради. Съставена е извадка за експлоатационни разходи от 32 единици на наблюдение, получена от емпирични данни за осем сгради, в страната, за период от 4 години – от 2016 г. до 2019 г. Данните са за енергийни разходи за отопление, охлаждане, затопляне на вода, електричество и разходи за вода на сградите, на годишна база за единица РЗП, съответно в kWh и m<sup>3</sup>. На основата на събраната емпирична информация се определя на кое теоретично вероятностно разпределение се подчиняват експлоатационните разходи за енергия и вода на жилищни сгради. За решаване на задачите, описани в т.3 и определяне на разпределението на генералната съвкупност от експлоатационни разходи е използван специализиран софтуер [25].

Като изходна база от хипотетични разпределения са използвани наличните в софтуера над 30 вида непрекъснати теоретични разпределения, които са възможни опции за моделиране на разходите.

За всяко от избраните теоретични разпределения се дефинира и подлага на проверка нулевата хипотеза за съгласуваност на емпиричното с теоретичното разпределение чрез теста на Колмогоров–Смирнов, на Андерсен–Дарлинг и  $\chi^2$  критерий на Пирсън. Условието за прилагане на теста на Пирсън са голяма по обем представителна извадка (над 50 единици на наблюдение) и всички очаквани (теоретични) честоти са поне 1 и поне 80% от тях са по-големи от 5. С емпиричната информация е съставена хистограма с 10000 единици в извадката, чрез итерации със софтуер за симулации, което изпълнява горните две условия. При прилагане на тест за съгласие  $\chi^2$  критерий на Пирсън, резулта-

тите за енергопотребление в жилищни сгради показват, че първите три най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, са съответно Лаплас, Логистично и Вейбул разпределения.

При прилагане на тест за съгласие Андерсен–Дарлинг, резултатите в графичен и табличен вид за енергопотребление в жилищни сгради показват, че първите три най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, са съответно също Лаплас, Логистично и Вейбул разпределения. Вж. фиг. 1.

При прилагане на тест за съгласие Колмогоров–Смирнов резултатите за енергопотребление в жилищни сгради сочат, че трите най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, са съответно Лаплас, Логистично и Екстремна стойност. Интересното при този критерий е фактът, че на четвърто място е Вейбул, с много малка разлика спрямо третото класирано разпределение, което затвърждава позицията му при другите два критерия.

От числовите характеристики и плътностите на вероятностите на топ четири вероятностни разпределения, подчиняващи се на хистограмата на относителните честоти на разходите за енергопотребление в жилищни сгради, в kWh/m<sup>2</sup> за година, може да се твърди, че най-подходящи са Лаплас и Логистично разпределения. Разногласие има в третото класирано разпределение, където по два от критериите подходящото е Вейбул и по един от критериите, на Колмогоров–Смирнов, подходящо е разпределението на Екстремната стойност. Вж. фиг. 2.

След обработка на данните за разход на вода на извадката от жилищни сгради и при прилагане на тест за съгласие  $\chi^2$  критерий на Пирсън резултатите от провеждане на анализа за потребление на вода в жилищни сгради показват, че трите най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, са съответно БетаОбщо, Триъгълно и Перт разпределения. Вж. фиг. 3.

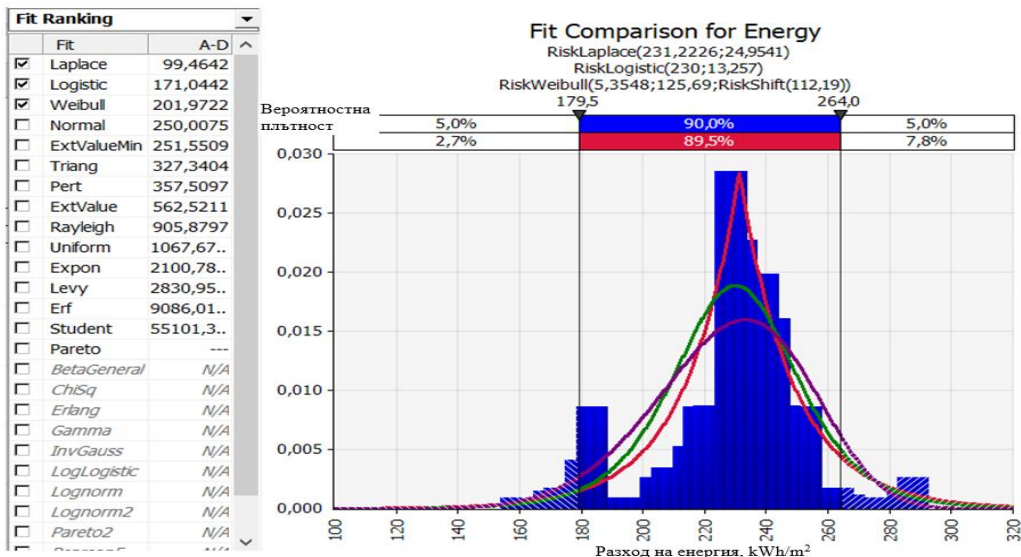
При прилагане на тест за съгласие на Андерсен–Дарлинг резултатите от обработка на данните за потребление на вода в жилищни сгради показват, че първите три най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, са съответно също БетаОбщо на 1во място, но следващите две места се разменят и съответно са Перт и Триъгълно разпределение. При прилагане на тест за съгласие Колмогоров–Смирнов резултатите сочат като най-подходящи вероятностни разпределения, класирани в низходящ ред, съответно БетаОбщо, Перт и Вейбул. На четвърта позиция като най-подходящо е Триъгълното разпределение, което присъства на второ и трето място по другите два критерия.

И по трите критерия на първо място е БетаОбщо разпределение. Различия има във второто и третото класирано разпределение, като по два от критериите подходящото е Перт на второ място, а по един от критериите, подходящо е Триъгълното разпределение на второ място. Третото място е за различни разпределения и по 3-те критерия, съответно подходящи на трета позиция са Перт, Триъгълно и Вейбул, като последното не попада във вторите позиции на класацията, за разлика от първите две. Вж. фиг. 4.

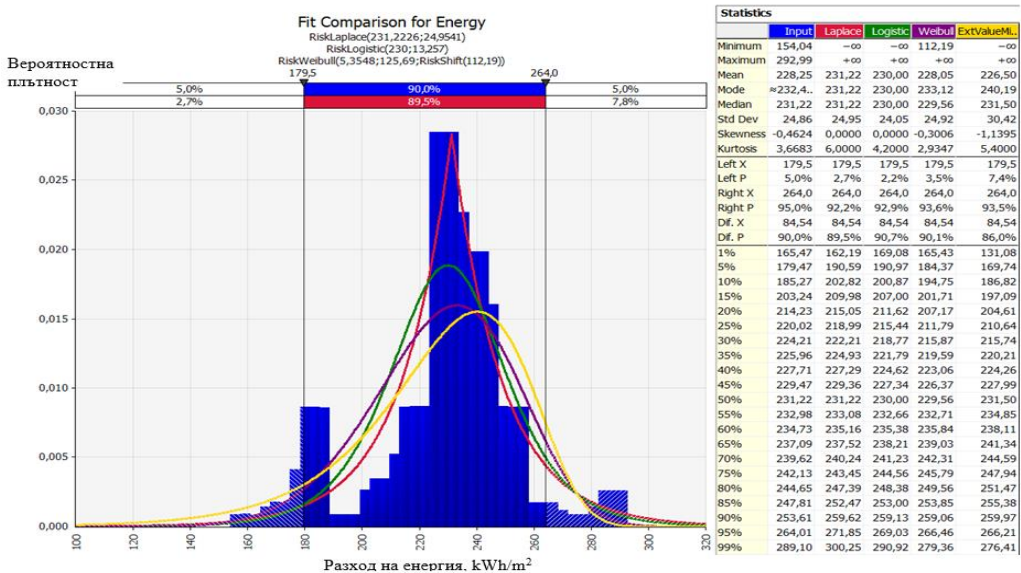
В заключение, за описване на стохастичния характер на разходите при експлоатация на жилищни сгради могат да се използват следните разпределения: за потребление на енергия: Лаплас и Логистично, също Вейбул и Екстремна стойност вероятностни разпределения, а за потребление на вода: БетаОбщо, Перт, Триъгълно разпределение. Дименсиите на случайните величини са kWh и m<sup>3</sup>, съответно за разход на енергия и за вода на жилищните обекти на годишна база за единица РЗП. Вж. табл. 1.

Получените резултати могат да се ползват като входна информация при създаване на стохастични математически модели за оценка на разходите през жизнения цикъл и по този начин да се отчита неопределеността на разходните компоненти. Това ще подпомогне процеса на вземане на решения при симулиране на различни алтернативи за про-

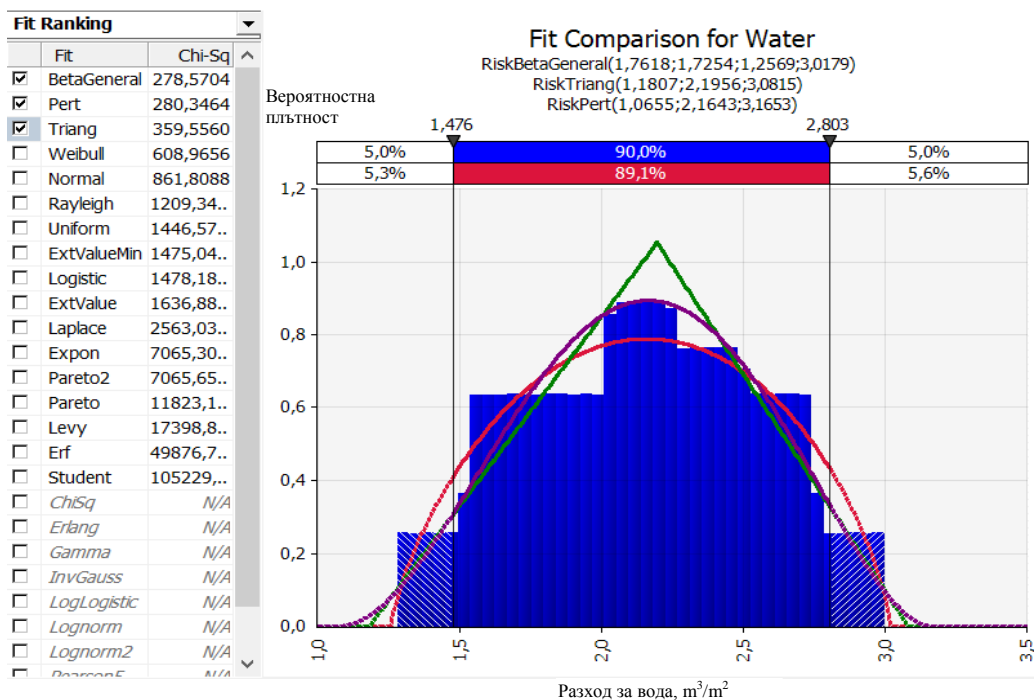
ектиране, изградване, поддръжка и разрушаване на строителни активи, което позволява на клиента, проектанта и строителя да изберат най-благоприятната алтернатива.



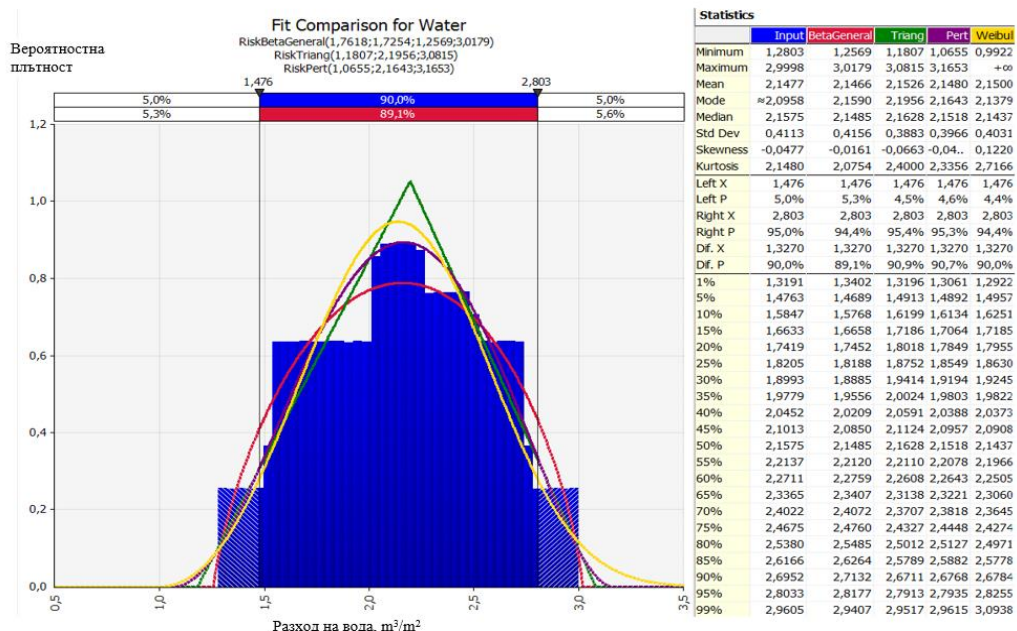
**Фиг. 1. Параметри и графики на плътността на Лаплас, Логистично и Вейбул разпределения, пасващи на хистограмата на относителните честоти на енергопотреблението в жилищни сгради, kWh/m<sup>2</sup> за година (класирани в топ 3 при проверка на хипотезата чрез Андерсен–Дарлинг критерий)**



**Фиг. 2. Числови характеристики и графики на четирите най-подходящи вероятностни разпределения, описващи енергопотреблението в жилищни сгради, kWh/година за 1 m<sup>2</sup> РЗП**



Фиг. 3. Параметри и графици на плътността на Бета, Триъгълно и Перт разпределение, подчиняващи се на хистограмата на относителните честоти на потреблението на вода в жилищни сгради,  $m^3/година$  за  $1 m^2$  РЗП (по  $\chi^2$  критерий на Пирсън)



Фиг. 4. Статистически характеристики и графици на най-подходящите вероятностни разпределения, подчиняващи се на потреблението на вода в жилищни сгради,  $m^3/m^2/г$ .

**Таблица 1. Вероятностни разпределения, подчиняващи се на част от експлоатационните разходи на жилищна сграда**

Ежегодни експлоатационни разходи на жил. сгради за 1 m <sup>2</sup> РЗП	Тестове за съгласие		
	$\chi^2$ критерий на Пирсън	Андерсен–Дарлинг	Колмогоров–Смирнов
Енергийни разходи за отопление, охлаждане, затопляне на вода, електричество, kWh	RiskLaplace (231,22;24,95)	RiskLaplace (231,22;24,95)	RiskLaplace (231,22;24,95)
	RiskLogistic (230;13,26)	RiskLogistic (230;13,26)	RiskLogistic (230;13,26)
	RiskWeibull (5,36;125,69)	RiskWeibull (5,36;125,69)	RiskExtvalueMin (240,19;23,72)
Разходи за водоснабдяване, m <sup>3</sup>	RiskBetaGeneral (1,76;1,73;1,26;3,02)	RiskBetaGeneral (1,76;1,73;1,26;3,02)	RiskBetaGeneral (1,76;1,73;1,26;3,02)
	RiskTriang (1,18;2,20;3,08)	RiskPert (1,07;2,16;3,17)	RiskPert (1,07;2,16;3,17)
	RiskPert (1,07;2,16;3,17)	RiskTriang (1,18;2,20;3,08)	RiskWeibull (3,15;1,29)

## 5. Изводи

Методът, известен като оценяване на разходите през целия жизнен цикъл на сграда, се прилага, за да се състави финансова оценка на инвестиционните сградни проекти чрез отчитане както на строителните разходи, така и на бъдещите разходи на сградата. За да бъдат най-добре оценени разходите през жизнения цикъл на сградата трябва да се отчете неопределеността при предвиждане на стойностите на разходните компоненти, особено прогнозните разходи за поддръжка и експлоатация.

В статията са получени резултати за числови характеристики и плътностите на вероятностите на най-подходящите вероятностни разпределения, подчиняващи се на хистограмата на относителните честоти на потреблението на енергия и вода в жилищни сгради. След сравнение и обобщение се установява, че вероятностното разпределение Лаплас е най-подходящо теоретично разпределение за описване на стохастичния характер на енергийни разходи за отопление, охлаждане, затопляне на вода и електричество, в kWh за 1 m<sup>2</sup> разгъната застроена площ. За описване на вероятностния характер на разходите за водоснабдяване най-подходящо е БетаОбщото разпределение. Обработените разходи са на годишна база за единица РЗП на жилищни сгради. Не се изключва възможността да се използват и други вероятностни разпределения, които отговарят на всички критерии и са включени сред първите три най-подходящи. За енергопотребление това са Логистично, Вейбул и Екстремна стойност, а за разход на вода – Перт, Триъгълно и Вейбул.

Включването на анализ на неопределеността при оценка на разходите през жизнения цикъл на сгради ще замени детерминиранията стойности на разходните компоненти с вероятностни разпределения и ще се подобри управлението на тези разходи. Съставянето на цялостен стохастичен модел е възможно при наличие на подходящ софтуер и ще бъде предмет на бъдещо изследване.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка, по договор Д-128/2020, е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Banishka, N., et al.* Necessity of stakeholder management in construction project life cycle. // *Ecology & Safety*, 2020, 14: 82-90.
2. *Ribin, A.* Life-cycle cost analysis of construction investment projects. Proceedings of the XX International Scientific Conference "Construction and Architecture" VSU'2020, 1 (6-6): 771-778.
3. *Fente, J., et al.* Defining a probability function for construction simulation. // *Journal of Construction Engineering and Management*, 2000, 126 (3): 234-241.
4. *Maio, C., et al.* Probability distribution functions for construction simulation. // *Journal of Construction Engineering and Management*, 2000, 126 (4): 285-292.
5. *Guan, Z., Wang, Y.* Non-parametric construction of site-specific non-Gaussian multivariate joint probability distribution from sparse measurements. // *Structural Safety*, 2021, 91: 102077.
6. *Smith, G., Bohn, C.* Small to medium contractor contingency and assumption of risk. // *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125 (2): 101-108.
7. *Plebankiewicz, E., Wiczorek, D.* Prediction of Cost Overrun Risk in Construction Projects. // *Sustainability*, 2020, 12 (22): 9341. <https://doi.org/10.3390/su12229341>.
8. *Chau, K.* Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data. // *Construction Management and Economics*, 1995, 13: 369-383.
9. *Chau, K.* The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong. // *Construction Management and Economics*, 1995, 13: 15-21.
10. *Back, W., et al.* Defining triangular probability distributions from historical cost data. // *Journal of Construction Engineering and Management*, 2000, 126 (1): 29-37.
11. *Wall, D.* Distributions and correlations in Monte Carlo Simulation. // *Construction Management and Economics*, 1997, 15: 241-258.
12. *Schexnayder, et al.* Describing a beta probability distribution function for construction simulation. // *Journal of Construction Engineering and Management*, 2005, 131 (2): 221-229.
13. *Kirkham, R., et al.* Probability distributions of facilities management costs for whole life cycle costing in acute care NHS hospital buildings. // *Construction Management and Economics*, 2002, 20: 251-261.
14. *Bousbane, A., Kirkham, R.* Simulation of maintenance costs in UK local authority sport centres. // *Construction Management and Economics*, 2004, 22 (10): 1011-1021.
15. ISO 15686-5:2017 (en) Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing.

16. *Heralova, R.* Life Cycle Cost optimization within decision making on alternative designs of public buildings. // *Procedia Engineering*, 2014, 85: 454–463.
17. *Kovacic, I., Zoller, V.* Building life cycle optimization tools for early design phase. // *Energy*, 92 (3), 2015: 409–419.
18. *Mancheva, J.* Selection of an appropriate probability distribution for modeling construction costs. // *Construction*, 2, 2006: 24–30.
19. *Peter E., Sing, C-P.* Determining the probability distribution of rework costs in construction and engineering projects. // *Structure and Infrastructure Engineering*, 2013, 9 (11): 1136–1148.
20. *Zhang, J., Wu, Y.* A family of simple distribution functions to approximate complicated distributions. // *Journal of statistical computation and simulation*, 2001, 70 (3): 257–266.
21. *Greenberg, D., Ben-Yair, A.* Beta-Distribution Models in Stochastic project Management. // *Computer Modelling and New technologies*, 2010, 14 (4): 14–18.
22. *Stephens, M. A.* EDF statistics for goodness of fit and some comparisons. // *Journal of the american statistical association*, 1974, 69 (347): 730–737.
23. *Anderson, T., Darling, D.* A test of goodness of fit. // *Journal of the American Statistical Association*, 1954, 49:765–769.
24. *Massey, F. T.* The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. // *Journal of the American Statistical Association*, 1951, 46 (253): 68–78.
25. *Palisade Corporation.* User's Guide to using @ RISK version 7, August 2015, New York, USA.

## ANALYSIS OF THE UNCERTAINTY OF LIFE CYCLE COST OF BUILDINGS

**J. Mancheva<sup>1</sup>**

**Keywords:** *operating costs, probability distributions, uncertainty, hypotheses, statistics*

### ABSTRACT

The paper offers a tool for accounting for the uncertainty of costs, which are a key indicator throughout the life cycle of an investment construction project. The main costs during the operation period of residential buildings are analysed. Based on empirical information on energy consumption and water consumption of eight residential buildings, it is determined which theoretical probability distribution the operating costs are subjected to. A statistical procedure is applied to select the most appropriate probability distributions from a set of hypothetical theoretical distributions. Specialized software is used to find the parameters of the probability distributions.

---

<sup>1</sup> Julieta Mancheva, Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1164, e-mail: mancheva\_fce@uacg.bg