

ԾԱՌԱՅՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈԼՈՐՏԻ ՉԱՐԳԱՑՈՒՄ ԵՎ ՍՈՑԻԱԼ-ԺՈՂՈՎՐԴԱԳՐԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐ

ԱՐԱՄ ՀԱՄԱՅԱԿԻ ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, տեխն. գիտ. դոկտ., պրոֆ.

Տնտեսության մեջ մաթեմատիկական մոդելավորման ամբիոնի վարիչ

ՍՏՅՈՂԱ ՍԱՍՎԵԼԻ ԾԱՌՈՒԿՅԱՆ

ԵՊՀ հայցորդ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՈՉ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Ներածություն: Արդի պայմաններում երկրների մեծ մասում, մասնավորապես ՀՀ-ում, էլեկտրաէներգիայի ծախսը գրանցում են էլեկտրական ցանցերի օպերատորները, համաձայն էլեկտրական էներգիայի հաշվիչների ցուցմունքի: Սակայն, ինչպես ցույց է տվել էլեկտրաէներգիայի մատակարարման և սպառման պատմական փորձը (դա բնորոշ է ինչպես ՀՀ-ի, այնպես էլ զարգացող երկրների համար), անխուսափելի են էլեկտրաէներգիայի ոչ տեխնիկական կորուստները¹, որոնք արտահայտվում են հետևյալ կերպ.

- ա) էլեկտրաէներգիա բաշխողի հսկիչի կողմից էլեկտրահաշվիչի ցուցմունքի սխալ գրանցում,
- բ) սպառողի անվճարունակության կամ վճարման ուշացում,
- գ) մի սպառողի էլեկտրաէներգիայի գողությունը մյուս սպառողներից:

Էլեկտրաէներգիայի ոչ տեխնիկական կորուստների դեմ պայքարը պայմանավորել է առաջարկել արդյունավետ միջոցներ, որոնց թվում այժմ կարևորվում է էլեկտրաէներգիայի բաշխման խելացի ցանցը (Smart Grid)²³ (ԷԲԽՑ): ԷԲԽՑ-ն օգտագործում է խելացի էլեկտրաէներգիայի հաշվիչներ, որոնք հիմնված են միկրոպրոցեսորային սարքերի վրա, հնարավորություն են տալիս ճշգրիտ գրանցելու ծախսված էլեկտրաէներգիան, խոչընդոտում են էլեկտրաէներգիայի ծախսը գրանցող օպերատորների խարդախությունները և «բացահայտել էլեկտրաէներգիա գողացող խար-

¹ McLaughlin, D. Podkuiko, and Patrick McDaniel. Energy theft in the advanced metering infrastructure. In Proceedings of CRITIS 09, 4th International Conference on Critical Information Infrastructures Security, 2009.

² Guidelines for smart grid cyber security: Vol 2., privacy and the smart grid. NIST IR 7628, Aug. 2010.

³ Michael LeMay and Carl A Gunter. Cumulative attestation kernels for embedded systems. *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 3(2):744–760, 2012.

դախ սպառողներին»: Ներկայացված հոդվածը, շարունակելով աշխատությունում ուսումնասիրված հիմնախնդրի հետազոտությունը և վերևում նշված աշխատությունների ուսումնասիրությունները, առաջարկում է տեսական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս գնահատելու խարդախ սպառողի ռիսկի չափը, կապված նրա սպասվող օգտակարության, գողացած էլեկտրաէներգիայի քանակի և բաշխման խելացի ցանցի էլեկտրաէներգիա բաշխողի ծախսերի հետ, որոնք ուղղված են ցանցի ունակությունները և հնարավորությունները բացահայտելուն:

Մեթոդաբանությունը, հիմնական հասկացությունները և նշանակումները

Հիմնական հասկացությունները և նշանակումները

Նշանակենք սպառողների բազմությունը, որոնք սպասարկվում են էլեկտրաէներգիայի բաշխման ցանցից $N=\{1,2,\dots,n\}$: Ենթադրենք, որ յուրաքանչյուր սպառող բնութագրվում է կամ որպես խարդախ (այսինքն՝ էլեկտրաէներգիա գողացող), նշանակենք նրան f -տեսակի սպառող կամ որպես ազնիվ, նշանակենք նրան g -տեսակի սպառող: Դիցուք, $N_f \subset N$ f -տեսակի սպառողների բազմությունն է՝ $N_g \subset N$ g -տեսակի սպառողների մասն է ընդհանուրի մեջ, իսկ N_{out} ՝ էլեկտրաէներգիա գողացող արտաքին սպառողների բազմությունն է:

Ենթադրենք, որ W'_i i -րդ տեսակի սպառողի հարստությունն է, $i=1,2,\dots,n$;

$q_{g_i}^B$ i -րդ սպառողի էլեկտրաէներգիայի սպառումն է ըստ էլեկտրաէներգիայի հաշվիչի ցուցմունքի, $i=1,2,\dots,n$;

$q_{g_k}^S$ k -րդ f -տեսակի խարդախ սպառողի գողացած էլեկտրաէներգիայի սպառումն է, $k \in N_f \cup N_{out}$ սպառողների բազմությանը;

p 1 կիլովատտ էլեկտրաէներգիայի սակագինն է;

$E(x)$ -ը x պատահական մեծության մաթեմատիկական սպասումն է;

$Q_i = \sum_{k \neq i, k \in N_f \cup N_{out}} q_{g_k}^S$ -ը i - րդ ազնիվ սպառողի հաշվին հավելագրված

$N_f \cup N_{out}$ խարդախ սպառողների բազմությունների գողացած էլեկտրաէներգիայի քանակն է, $i \in N_g$;

$U(W_i)$ i -րդ սպառողի օգտակարության ֆունկցիան է, $i \in N$;

A-ն խելացի ցանցին միանալու սակագինն է:

$F(Q_i^S)$ i-րդ խարդախ սպառողին գողացած էլեկտրաէներգիայի համար ներկայացված տուգանքն է, $i \in N_f \cup N_{out}$:

Ազնիվ սպառողի ռիսկի գնահատումը

Դիտարկենք հետևյալ երկու իրավիճակները:

1. Ենթադրենք, որ i-րդ ազնիվ սպառողի վերաբերյալ էլեկտրաէներգիայի ծախսի հավելագրում չի կատարվում:

Այս դեպքում նրա էլեկտրաէներգիայի ծախսը կկազմի $q_{g_i}^B p + A$, իսկ օգտակարությունը հավասար է՝ $U(W_i - q_{g_i}^B p + A)$:

2. Ենթադրենք, որ i-րդ ազնիվ սպառողի վերաբերյալ կատարվում է էլեկտրաէներգիայի ծախսի հավելագրում՝ $Q_i^S = \sum_{k \neq i, k \in N_f \cup N_{out}} q_{g_k}^S$, իսկ $N_f \cup N_{out}$ խարդախ սպառողների գողացած էլեկտրաէներգիայի համար ներկայացված տուգանքն է՝ $F(Q_i^S)$, $i \in N_g$:

Այս դեպքում ազնիվ սպառողի էլեկտրաէներգիայի ծախսը կկազմի՝ $W_i - q_{g_i}^B p - A - Q_i^S p + F(Q_i^S)$, իսկ օգտակարության ֆունկցիան հավասար է՝ $U(W_i - q_{g_i}^B p - A - Q_i^S p + F(Q_i^S))$:

Ենթադրենք, որ $q_{g_k}^S$ պատահական մեծություն է, և մաթեմատիկական սպասումը հավասար է՝ $E(q_{g_k}^S) = 0$, $k \in N_f \cup N_{out}$:

Դիտարկենք i-րդ ազնիվ սպառողի օգտակարության ֆունկցիան և ներկայացնենք դրա Թեյլորի բանաձևը.

$$U(W_i - q_{g_i}^B p + A) = U(W_i) - U'(W_i)(q_{g_i}^B p + A) + \text{բարձր կարգի անդամներ.} \quad (1)$$

$$U(W_i - q_{g_i}^B p - A - Q_i^S p + F(Q_i^S)) = U(W_i) - U'(W_i)(q_{g_i}^B p + A + Q_i^S p + F(Q_i^S)) + 0.5U''(W_i)((q_{g_i}^B p + A) + Q_i^S p - F(Q_i^S))^2 + R, \quad (2)$$

որտեղ R -ը բարձր կարգի անդամներն են:

$$E(U(W_i - q_{g_i}^B p - A - Q_i^S p + F(Q_i^S))) = U(W_i) - U'(W_i)(q_{g_i}^B p + A + Q_i^S p + F(Q_i^S)) + E(0.5U''(W_i)((q_{g_i}^B p + A) + Q_i^S p - F(Q_i^S))^2 + R), \quad (3)$$

որտեղ R -ը բարձր կարգի անդամներն են:

Նշանակենք $F(Q_i^S) = Q_i^S p + F(Q_i^S)$ խարդախ սպառողների տու-
գանքը, որ նրանք պետք է վճարեն էլեկտրաէներգիա բաշխողին գողացած
էլեկտրաէներգիայի դիմաց, էլեկտրաէներգիայի գողության փաստը
հայտնաբերելու արդյունքում և i -րդ ազնիվ սպառողի վերաբերյալ կա-
տարված էլեկտրաէներգիայի $Q_i^S = \sum_{k \neq i, k \in N_f \cup N_{out}} q_{gk}^S$ ծախսի հավելագրումից հետո:

Այսպիսով, (3) հավասարումը կստանա հետևյալ տեսքը.

$$E(U(W_i - q_{g_i}^B p - A - Q_i^S p + F(Q_i^S))) = U(W_i) - U'(W_i)(q_{g_i}^B p + A - \varepsilon(l)) + 0.5U''(W_i)((q_{g_i}^B p + A)^2 - 2q_{g_i}^S p + A)\varepsilon(l) + \varepsilon^2(l) + R, \quad (4)$$

Հավասարեցնելով (1) և (4) հավասարումները՝ կստանանք.

$$U'(W_i)\varepsilon(l) + 0.5U''(W_i)((q_{g_i}^B p + A) - \varepsilon(l))^2 = 0. \quad (5)$$

Նշանակենք $r_i = -\frac{U'(W_i)}{U''(W_i)}$, որը կանվանենք խարդախ սպառողների

կողմից էլեկտրաէներգիայի ծախսի հավելագրմանը ենթարկվելու i -րդ
ազնիվ սպառողի ռիսկի չափը ըստ Պրատի: Այսպիսով, (5) հավասարու-
մից ստանում ենք.

$$2r\varepsilon(l) = ((q_{g_i}^B p + A) - \varepsilon(l))^2, \quad (6)$$

Այսինքն՝

$$r = 0.5((q_{g_i}^B p + A) - \varepsilon(l))^2 / \varepsilon(l) : \quad (7)$$

Կամ

$$r = 0.5\left(\frac{q_{g_i}^B p + A}{\varepsilon(l)} - 1\right)^2$$

Հավասարում (7)-ից հետևում է, որ i -րդ ազնիվ սպառողի ռիսկի
չափը հակառակ համեմատական է խարդախ սպառողների տուգանքի
մեծությանը, ու հետևաբար՝ այն հակառակ համեմատական է խարդախ
սպառողների կողմից էլեկտրաէներգիայի ծախսի հավելագրմանը են-
թարկվելուն:

Խարդախ սպառողի ռիսկի գնահատումը

Դիտարկենք հետևյալ իրավիճակները: Խարդախ սպառողը գողա-
նում է էլեկտրաէներգիան, սակայն վճարում է ըստ էլեկտրաէներգիայի

հաշվիչի ցուցմունքի, որը հավասար է $q_{f_i}^B p + A$, իսկ գողացած էլեկտրա-
էներգիայի զինը հավասար է $q_{f_i}^S p$ ՝ ու հետևաբար՝ գողացած էլեկտրա-
էներգիայի ծախսը նա չի վճարում: Հնարավոր են հետևյալ երկու իրավի-
ճակները:

1. Խարդախ սպառողի էլեկտրաէներգիայի գողությունը չի հայտնա-
բերվում, ու հետևաբար նա վճարում է $q_{f_i}^B p + A$ էլեկտրաէներգիայի
ծախսը:
2. Շնորհիվ այն բանի, որ էլեկտրաէներգիայի բաշխման ցանցը խելացի
է, խարդախ սպառողի էլեկտրաէներգիայի գողության փաստը հայտ-
նաբերվում է, և նա տուգանվում է:

Նշանակենք խարդախ սպառողի օգտակարության ֆունկցիան՝ $U(W_i)$,
 $i \in N_f \cup N_{out}$: Առաջին դեպքում, երբ նրա գողության փաստը չի հայտնա-
բերվում, նրա օգտակարությունը հավասար է՝ $U(W_i - q_{f_i}^B p + A) = U(W_{in})$:

Նշանակենք $\rho_D(l, q_f^S)$ հավանականությունը այն բանի, որ խարդախ
սպառողի գողության փաստը չի հայտնաբերվում, որտեղ l -ը էլեկտրա-
էներգիայի բաշխման խելացի ցանցի ծախսերն են ցանցի կատարելա-
գործման համար, q_f^S -ը գողացած էլեկտրաէներգիայի քանակն է: Նշանա-
կենք

$$F(l, q_f^S) = q_f^S m + \varepsilon(l), \quad (8)$$

խարդախ սպառողի տուգանքը, որտեղ $m \succ p$ -ից:

Այսպիսով, խարդախ սպառողի սպասվող օգտակարությունը հավա-
սար է

$$E(U) = U(W_i - q_{f_i}^B p + A) \rho(q_f^S, l) + \quad (9)$$

$$U(W_i - (q_{g_i}^B p + A) - q_f^S p - F(l, q_f^S)(1 - \rho(l, q_f^S)))$$

Նշանակենք

$$W_{li} = W_i - (q_{f_i}^B p + A) \quad (10)$$

$$W_{2i} = W_i - (q_{f_i}^B p + A) - q_f^S p - F(l, q_f^S) \quad (11)$$

Որոշենք (9) հավասարման առաջին կարգի պայմանները ըստ q_f^B և
 q_f^S -ի:

Ածանցելով (9) հավասարումը ըստ q_f^S և հավասարեցնելով ածանցյալը 0 – ի, կստանանք.

$$(U(W_{i1}) - U(W_{i2})) \frac{\partial \rho(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} - U'(W_{i2}) \left(p + \frac{\partial F(l, q_f^S)}{\partial q_f^S} \right) (1 - \rho(l, q_f^S)) = 0 \quad (12)$$

Հավասարում (12)-ի պարզեցումը տալիս է.

$$(U(W_{i1}) - U(W_{i2})) \frac{\partial \rho(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} - U'(W_{i2}) p + U'(W_{i2}) p \rho(q_f^S, l) - U'(W_{i2}) \frac{\partial F(l, q_f^S)}{\partial q_f^S} + U'(W_{i2}) \rho(l, q_f^S) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} = 0 \quad (13)$$

Կիրառելով Թեյլորի բանաձևը՝ (13)- ից կստանանք.

$$\begin{aligned} & [U'(W_i)(q_f^S p + F(q_f^S, l)) + 0.5 U''(W_i) p^2 (2(q_f^B p + A)(q_f^S p + F(q_f^S, l)) + \\ & (q_f^S p + F(q_f^S, l))^2)] \frac{\partial \rho(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} - U'(W_i) p + U''(W_i) p (q_f^S p + A + F(q_f^S, l)) + \\ & U'(W_i) p \rho(q_f^S, l) - U''(W_i) (q_f^S p + A + F(q_f^S, l)) p \rho(q_f^S, l) - \\ & U'(W_i) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} + U''(W_i) (q_f^S p + A + F(q_f^S, l)) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} + \\ & U'(W_i) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} - U''(W_i) (q_f^S p + A + F(q_f^S, l)) \rho(q_f^S, l) p = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Նշանակենք $r = -\frac{U'(W_i)}{U''(W_i)}$, և անվանենք այն խարդախ սպառողի

ռիսկի չափը ըստ Պրատի: Նշանակենք

$$\begin{aligned}
R_1 = & [0.5p^2(2(q_f^S p + F(q_f^S, l))(q_f^S p + F(q_f^S, l)) + \\
& (q_f^S p + F(q_f^S, l))^2 \frac{\partial \rho(q_f^S)}{\partial q_f^S} - p(q_f p + A + F(q_f^S)) + \\
& (q_f p + A + F(q_f^S))p\rho(q_f^S, l) - (q_f p + A + F(q_f^S, l)) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} + \\
& (q_f p + A + F(q_f^S, l)) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} \rho(q_f^S, l)], \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_2 = & (q_f^S p + F(q_f^S, l))p - p(1 - \rho(q_f^S, l)) - \\
& (1 - \rho(q_f^S, l)) \frac{\partial F(q_f^S, l)}{\partial q_f^S} \quad (16)
\end{aligned}$$

Բաժանելով (14) հավասարման բոլոր անդամները $U''(W_i)$ ՝ կստանանք.

$$r = \frac{R_1}{R_2} \quad (17)$$

Բաժանելով (17) հավասարման համարիչը և հայտարարը

$(q_f^S p + F(q_f^S, l))^2$ -ով կստանանք.

$$r = K(q_f^S p + F(q_f^S, l))^2 \quad (18)$$

Հավասարում (18)-ից հետևում է, որ խարդախ սպառողի ռիսկի չափը, ըստ Պրատի, ուղիղ համեմատական է նրա կողմից գողացված էլեկտրաէներգիային և գողության համար ներկայացված տուգանքին: Միաժամանակ այս հավասարումը հնարավորություն է տալիս գնահատելու խարդախ սպառողի ռիսկի չափը ըստ Պրատի:

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՈՉ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

ԱՐԱՄ ՀԱՄԱՅԱԿԻ ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, տեխն.գիտ.դոկտ., պրոֆեսոր
Տնտեսության մեջ մաթեմատիկական մոդելավորման ամբիոնի վարիչ
ՍՏՅՈՊԱ ՍԱՄՎԵԼԻ ԾԱՌՈՒԿՅԱՆ
ԵՊՀ հայցորդ

Համառոտագիր: Ներկայումս երկրների մեծ մասում, մասնավորապես ՀՀ-ում, էլեկտրաէներգիայի ծախսը հաշվարկվում է համաձայն էլեկտրական էներգիայի հաշվիչների ցուցմունքի: Նշենք, որ նման պայմաններում անխուսափելի են խարդախությունների երևույթները, ինչպես էներգետիկ համակարգի օպերատորների կողմից, այնպես էլ խարդախ սպառողների կողմից իրականացվող ազնիվ սպառողների վերաբերյալ էլեկտրաէներգիայի ծախսի հավելագրումները:

Ներկայացված աշխատանքը նվիրված է էլեկտրաէներգիայի ծախսի մոդելի առաջարկմանը, որի հիման վրա հաշվարկվում է ազնիվ և խարդախ սպառողների ռիսկի չափը ըստ Պրատի:

Բանալի բառեր. *ռիսկ, Պրատ, էլեկտրաէներգիայի ծախս, մոդել, ազնիվ սպառող, խարդախ սպառող, բաշխման ցանց:*

ОЦЕНКА НЕТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

АРАМ АМАЯКОВИЧ АРАКЕЛЯН, доктор техн.наук, профессор
Зав.кафедрой Математических методов в экономике ЕрГУ
СТЕПА САМВЕЛОВИЧ ЦАРУКЯН
соискатель ЕГУ

Аннотация: В настоящее время в большинстве стран и в частности в Армении, расход электроэнергии определяется по показанию счетчика электроэнергии оператором энергосети. Однако такой способ регистрации расхода электроэнергии чреват обманом со стороны оператора и потребителя, который может отнести свои расходы на показания счетчика электроэнергии других потребителей.

Представляемая работа посвящена изучению проблемы оценки риска потребителей электроэнергии на основе модели оценки риска Пратта.

Ключевые слова: *риск, Пратт, модель, расход электроэнергии, счетчик, честный потребитель, обманик, сеть распределения.*

ASSESSMENT OF NONTECHNICAL LOOSES OF THE ELECTRICITY

ARAM HAMAYAK ARAKELYAN, *Doctor of Sciences (Engineering), Professor*
Head of the Department of Mathematical Modeling in Economics
Yerevan State University

STYOPA SAMVEL TSARUKYAN,
Ph.D. Student, Yerevan State University

Abstract: Currently, in many countries and particularly in Armenia, the cost of electricity consumption is determined by the meter of the electricity meter from grid operator. However, such a method of recording the electricity consumption causes fraud by a dishonest consumer or by the operator of the grid, thus resulting in adding some additional amount to the original bill to be paid by honest consumers.

The article proposes a model for calculating the cost of consumed electricity based on which the risks associated with honest and dishonest consumers are computed according to Pratt.

Keywords: *Risk, Pratt, cost of electricity consumption, model, honest consumer, dishonest consumer, distribution network and/or grid.*