

Ա.Հ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԿԻՐԵՌԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ԱՊԱՀՈՎՄԱՆ ՆԵՐԴՐՈՒՄԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼ՝
ԷԱԿԱՆ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ներկայացված է էական անորոշության պայմաններում կիրառական գոյության ապահովման համար կազմակերպության ներդրումային որոշումների կայացման մոդելավորումը՝ Գորդոն-Լոբբի մոդելի ընդլայնմամբ: Ցույց է տրված, որ որոշումների վերլուծության ժամանակ որոշում կայացնողի վերաբերմունքը անորոշության նկատմամբ էականորեն կարևոր է: Ներկայացված է առանձին պարամետր մոդելավորելու համար անորոշության նկատմամբ որոշում կայացնողի անձնական վերաբերմունքը:

Առանցքային բառեր. կիրառական գոյություն, մեծ անորոշություն, օպտիմալ ներդրումային մոդել:

Ներածություն. Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների արագ զարգացումը զգալիորեն մեծացրել է հասարակական ոլորտների կախումը տեղեկույթից և տեղեկատվական համակարգերից՝ ստեղծելով մի շարք նոր հնարավորություններ և տարաբնույթ կիրառական առիթներ: Հետևաբար՝ կիրառական առիթների բարդ և ստոխաստիկ բնույթի, կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի վրա դրանց հնարավոր բացասական ազդեցության և առկա անորոշության ու սահմանափակ ռեսուրսների պայմաններում, հարաբերականորեն մեծ թվով ակտիվների պաշտպանության հաշվառմամբ, պետության և կազմակերպության համար հատկապես կարևոր են դառնում ներդրումային արդյունավետ ռազմավարության մշակումն ու տվյալ ոլորտում ճիշտ և օպտիմալ ներդրումների կատարումը:

Այս համատեքստում հարկ է նշել, որ ի տարբերություն այլ ներդրումների՝ կիրառական գոյության ապահովման համար կատարվող ներդրումներից ստացվող եկամուտները դրամական չեն և արտահայտվում են կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի խոցելիության մակարդակի նվազեցմամբ: Նշենք նաև, որ կիրառական գոյության ոլորտում կազմակերպության ներդրումային որոշումներն ունեն երեք հատկանիշներ: Առաջին. հնարավոր սպառնալիքներից բխող միջավայրն անորոշ է: Երկրորդ. կիրառական գոյության ոլորտում կատարված ներդրումներն ամբողջությամբ անվերադարձելի են: Երրորդ. կարևոր նշանակություն ունի ներդրում կատարելու որոշման կայացման պատեհաժամությունը [1]:

Աշխատանքում ներկայացվում է մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ապահովման համար օպտիմալ ներդրումների կատարման մոդելավորումը՝ Գորդոն-Լոբբի ստատիկ մոդելի ընդլայնմամբ, որում առանձին պարամետրով մոդելավորվում է ներդրումների կատարման ժամանակ որոշում կայացնողի անձնական վերաբերմունքը մեծ անորոշության նկատմամբ:

1. Ներդրումների կատարման միափուլ մոդելը. Կազմակերպության կողմից կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումների կատարման օպտիմալության մակարդակը գնահատելու համար դիտարկենք ներդրումների կատարման միափուլ մոդելը [2], որը, ի տարբերություն ներդրումային երկփուլ կամ բազմափուլ մոդելների, ստատիկ է և ամբողջությամբ չի արտահայտում կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումների դինամիկ էությունը [3]:

Այս համատեքստում ներդրումների կատարման տեսանկյունից տեղեկատվական համակարգը բնութագրվում է երեք հիմնական պարամետրերով. առաջին՝ համակարգի խաթարման դեպքում λ դրամական կորուստները, երկրորդ՝ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքի ξ հավանականությունը, երրորդ՝ համակարգին բնորոշ խոցելիության ν հավանականությունը: Նշվածի հաշվառմամբ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքի հաջող իրականացման դեպքում սպասվելիք L կորուստները կհաշվենք ($L = \xi\lambda$) բանաձևի միջոցով, իսկ տեղեկատվական համակարգի խոցելիության մակարդակը նվազեցնելու համար կազմակերպության կողմից ($z > 0$) դրամական միջոցների ներդրման դեպքում կունենանք ներդրումից հետո համակարգի $S(z, \nu)$ մնացյալ խոցելիության մակարդակը:

Ներդրումից սպասվելիք եկամուտը, այսինքն՝ ներդրումից սպասվելիք կորուստների նվազեցումը կհաշվենք հետևյալ բանաձևով.

$$EB(z) = (\nu - S(z, \nu))L, \quad (1)$$

իսկ սպասվելիք զուտ եկամուտը՝

$$ENB(z) = (\nu - S(z, \nu))L - z, \quad (2)$$

որտեղ $[\nu - S(z, \nu)]$ -ն համակարգի խոցելիության մակարդակի նվազեցումն է:

Դիֆերենցելիության տեսանկյունից պարզ է, որ ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը կարելի է որոշել հետևյալ առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարման միջոցով.

$$\frac{\partial(\nu - S(z, \nu))L - z}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

որի համաձայն՝ $z^* = z^*(\nu)$ -ի համար կստանանք հետևյալ պայմանը՝

$$\frac{-\partial S(z^*, v)L}{\partial z} = 0 : \quad (4)$$

Քանի որ $S(z, v)$ -ը կարելի է մեկնաբանել որպես հավանականություն, ուստի՝ անհրաժեշտ է, որ տեղի ունենա $(0 \leq S(z, v) \leq 1)$ պայմանը: Դա անհրաժեշտ է, քանի որ մնացյալ խոցելիության մակարդակի որոշման ֆունկցիան չի կարող լինել կամայական: Ֆունկցիայի առաջին արգումենտը ներդրվող գումարն է, իսկ երկրորդը՝ հավանականությունը, որը բավարարում է $(z \geq 0)$ և $(0 \leq v \leq 1)$ պայմանները:

Այժմ դիտարկենք տեղեկատվական համակարգերի խոցելիությամբ պայմանավորված հետևյալ ենթադրությունները [2].

1. $\forall z, S(z, 0) = 0$, այսինքն՝ երբ տեղեկատվական համակարգը լիովին անխոցելի է, ապա ցանկացած ներդրման դեպքում (ներառյալ՝ $z = 0$ դեպքը) համակարգը կլինի պաշտպանված:

2. $\forall v, S(0, v) = v$, այսինքն՝ երբ անվտանգության ապահովման համար ներդրում չի կատարվում, ապա համակարգի՝ հնարավոր սպառնալիքից խոցվելու հավանականությունը հավասար կլինի համակարգի v խոցելիությանը:

3. $\forall v \in (0; 1), \forall z, \frac{\partial S(z, v)}{\partial z} < 0$ և $\frac{\partial^2 S(z, v)}{\partial z^2} < 0$, այսինքն՝ ներդրում կատարելով՝ անվտանգության մակարդակը բարձրանում է, ավելին, ենթադրվում է, որ $\forall v \in (0; 1), \lim_{z \rightarrow \infty} S(z, v) \rightarrow 0$, քանի որ $z \rightarrow \infty$: Այսպիսով՝ տեղեկատվական համակարգերի անվտանգության ապահովման համար ներդրում կատարելով՝ համակարգի խաթարման հավանականությունը ձգտում է զրոյի: Այլ կերպ ասած՝ որքան մեծ է ներդրման չափը, այնքան փոքր կարող է լինել համակարգի խոցելիության մակարդակը:

Դիտարկենք նաև վերը նշված պայմանները բավարարող խոցելիության մակարդակի նվազեցման հետևյալ երկու ֆունկցիաները [2].

$$S^I = \frac{v}{(az+1)^{\gamma}} \quad (a > 0, \gamma \in R), \quad (5)$$

$$S^{II} = v^{az+1} \quad (a > 0) : \quad (6)$$

Հարկ է անդրադառնալ նաև [2]-ում ներկայացված հատկություններին: Նշվածի համաձայն կիրառելով (4)-ը՝ կարելի որոշել $z^*(v)$ ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը: Այս պարագայում միանգամայն բնական է համեմատել ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը vL սպասվելիք ընդհանուր կորստի հետ, չնայած ապացուցված է, որ վերը նշված երեք պայմանները բավարարող $S(z, v)$ ֆունկցիաների համար $z^*(v) < vL$, ավելին՝ $z^*(v) < \frac{1}{e}vL$, որտեղ $\frac{1}{e}$ -ը հաստատուն թիվ է, իսկ անվտանգության ապահովման համար ներդրվող z գումարը

կարող է մեծ լինել կամ չլինել λ կորուստներից: Մյուս հատկությունն այն է, որ համակարգի u խոցելիությունը, մնացյալ խոցելիությունը և λ կորուստները անկախ են պաշտպանության ենթակա տեղեկատվական համակարգի արժեքից:

Իրենց աշխատանքում Գորդոնն ու Լոբերը պնդում են, որ ներդրվող z գումարը չպետք է գերազանցի այն կետը, որտեղ սահմանային եկամուտները հավասարվում են սահմանային ծախսերին՝ դրանով ներդրումների համար սահմանելով վերին շեմ: Ուստի՝ ներդրում կատարելու z^* օպտիմալ գումարի չափին հասնելու համար անհրաժեշտ է, որ սահմանային եկամուտների և սահմանային ծախսերի միջև տարբերությունը մաքսիմիզացվի: Վերը դիտարկված խոցելիության մակարդակի նվազեցման երկու ֆունկցիաների համար ներդրման օպտիմալ գումարի չափը մեծ մասամբ չի գերազանցում սպասվելիք կորուստների 37%-ը ($\frac{1}{e} \approx 36,8\%$), իսկ շատ դեպքերում այն ավելի փոքր է [2]:

Կիրենովտանգության ապահովման համար ներդրումային որոշումների կայացման տվյալ մոտեցման՝ որպես քաղաքականության մշակման և կառավարման գործիքի հարմարավետության գնահատման համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել այն հանգամանքը, որ տվյալ մոտեցումը դիտարկում է ներդրումների կատարման միափուլ մոդել [2], ինչը նշանակում է, որ բոլոր որոշումները կայացվում են միանգամից: Հետևաբար, ներդրման գործընթացը չի կարելի բաժանել ավելի փոքր փուլերի, և ներդրումը կատարվում է ամբողջական՝ հանգեցնելով պահային արդյունքների: Այս մոտեցման հիմքում ընկած են ֆինանսական չափման մեխանիզմները (financial measures), այսինքն՝ միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները և հնարավոր սպառնալիքների ու համակարգի խոցելիության հավանականությունները (հավանականային չափերը)՝ հաշվի չառնելով ոչ ֆինանսական չափման մեխանիզմները (non-financial measures), գումարի ժամանակային արժեքը, ինչպես նաև ընթացիկ պարբերական ծախսերն ու եկամուտները (running costs and benefits):

Այսպիսով՝ ներկայացված մոտեցումը նպատակահարմար է կիրառել այն դեպքում, երբ ներդրումն իրականացվում է միանգամից և ամբողջական:

2. Մոդելային անորոշություն. Ենթադրենք, թե որոշում կայացնողը ամբողջովին վստահ չէ համակարգի խաթարմանն ուղղված ξ_t սպառնալիքը բնութագրող պարամետրի հարցում, այսինքն՝ հավանականության չափման մեջ առկա է մեծ անորոշություն: Հետևաբար՝ որևէ կոնկրետ հավանականության փոխարեն որոշում կայացնողը դիտարկում է հավանականությունների $\tilde{P}$ բազմությունը [4, 5]: Այս պարագայում $\tilde{P}$ բազմությունը սահմանենք որպես փոխադարձաբար բացարձակ անընդհատ (mutually absolutely continuous) P օբյեկտիվ հավանականության նկատմամբ: Տվյալ բազմությունը կարելի է սահմանել նաև, այսպես կոչված, $\theta = (\theta_t)$

խտության գեներատորի (density generator) միջոցով, որը ստոխաստիկ պրոցեսների մի դաս է և կարող է օգտագործվել Q^θ հավանականության գեներացման համար՝ սահմանելով հավանականային բաշխումների խտությունները:

Այժմ ենթադրենք, որ $(\theta_t) \in \Theta$ խտության գեներատորները սահմանափակված են $K = [-k, k]$ ոչ ստոխաստիկ միջակայքով [6]: $\tilde{P}$ բազմության այս սահմանումը P օբյեկտիվ հավանականության շուրջ ձևավորում է հաստատուն մեծ անորոշության միջակայք՝ դրանով արագացնելով դինամիկ լավարկային խնդիրների անալիտիկ լուծումները [7]: Հարկ է նշել, որ $\tilde{P}$ -ն քառակուսային է և անհրաժեշտ պայման՝ միջծամանական լավարկային խնդիրների դինամիկ կայունությունն ապահովելու համար [5]:

Ենթադրենք, թե անվտանգության խաթարմանն ուղղված ξ_t սպառնալիքը դրսևորվում է Բրոունյան շարժման նմանությամբ այնպես, որ.

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t, \quad (7)$$

որտեղ μ շեղման պարամետրը և պրոցեսի σ փոփոխականությունը իրական թվեր են: Ենթադրենք նաև, որ $\sigma \geq 0$ ՝ ընդհանրությունը չկորցնելու և $\sigma \neq 0$ դեպքերում իստական դեպքը բացառելու համար: Ըստ այդմ՝ բանաձև (7)-ում w_t -ն P հավանականության նկատմամբ Բրոունյան շարժում է, քանի որ

$$dw_t^\theta = dw_t + \theta_t dt : \quad (8)$$

Հետևաբար, Գիրսանովի թեորեմի համաձայն [8, 9]՝ ցանկացած $(\theta \in \Theta)$ -ի համար գործում է.

$$d\xi_t = (\mu - \sigma \theta_t) \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t^\theta : \quad (9)$$

Նշվածի համաձայն՝ Q^θ -ի խորքային հավանականություն լինելու դեպքում ξ_t -ն նաև (9) ստոխաստիկ դիֆերենցիալ հավասարման լուծումն է, քանի որ այս դեպքում, Գիրսանովի թեորեմի համաձայն, w_t^θ -ն Բրոունյան շարժում է Q^θ -ի նկատմամբ: Հարկ է նշել, որ գոյություն ունի միայն մեկ ξ_t ստոխաստիկ պրոցես, որն ունի ստոխաստիկ դիֆերենցիալ հավասարումների շատ դրսևորումներ: Դրանցից են (7) և (9) հավասարումները, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանում է $(\theta \in \Theta)$ -ին: Այստեղից երևում է, որ $\tilde{P}$ բազմության դիտարկված բոլոր ստոխաստիկ հավասարումները միմյանցից տարբերվում են միայն շեղման գործակցով, որը K միջակայքին համապատասխան կարող է տարբեր լինել:

Դիցուք՝ $(\theta \in \Theta)$: Հետևաբար՝ (9) հավասարման և ξ_t -ի լոգարիթմի նկատմամբ Իտոյի լեմմի կիրառման միջոցով [10] Q^θ -ի համար կստանանք.

$$\xi_t = \xi_0 \exp \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t - \sigma \int_0^t \theta_s ds + \sigma w_t^\theta \right), (\forall t \geq 0) : \quad (10)$$

(10) հավասարումից պարզորեն երևում է, որ ξ միակ ստոխաստիկ պրոցեսն ունի բազմաթիվ տարբեր դրսևորումներ, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանում է P -ին համարժեք որոշակի հավանականության:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ՝ ստորև ներկայացվում է մեծ անորոշության պայմաններում որոշումների կայացման մոդելավորումը՝ կիրառելով հավանականությունների բաշխումների բազմության նկատմամբ երկու ծայրահեղ նախապատվությունների համակցությունը [7]: Այս համատեքստում որոշում կայացնողի տեսանկյունից, մի դեպքում՝ դիտարկվում է անորոշությունից խուսափողի ռամավարությունը՝ վատագույն հավանականային բաշխման օրինակով [11], մյուս դեպքում՝ անորոշությունը համակրողի ռազմավարությունը՝ լավագույն հավանականային բաշխման օրինակով: Որոշումները կայացնելիս վատագույն և լավագույն դեպքերի դիտարկման վերաբերյալ նախապատվությունների այսպիսի համակցությունն անվանվում է նաև Հարվիցի չափանիշ:

Անորոշ իրավիճակներում որոշում կայացնողի վերաբերմունքը մեծ անորոշության նկատմամբ բնութագրող երկու ծայրահեղ նախապատվությունների այսպիսի համակցությունը նկարագրենք $\alpha \in [0,1]$ պարամետրով: Որոշում կայացնողի նախապատվությունները բնութագրող α պարամետրի հաշվառմամբ դիտարկենք, այսպես կոչված, α -սպասվելիք արժեքը, որը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտության միջոցով.

$$E^{\alpha}[f(x)] = \alpha \sup_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)] + (1 - \alpha) \inf_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)], \quad (11)$$

որտեղ $\tilde{P}$ -ն հնարավոր հավանականությունների բազմությունն է, իսկ $(f: x \rightarrow R)$ -ը՝ եկամուտը բնութագրող ֆինանսավճարային ստոխաստիկ ֆունկցիան: α -սպասվելիք արժեքի իմաստն այն է, որ որոշում կայացնողը α կշռով դիտարկում է լավագույն հնարավոր սցենարը, իսկ $(1 - \alpha)$ կշռով՝ վատագույն սցենարը:

Եզրակացություն. Կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա անորոշության ու սահմանափակ ռեսուրսների պայմաններում մեծ թվով ակտիվների, տեղեկատվական ռեսուրսների պաշտպանության համար պետության և կազմակերպության համար հատկապես կարևոր է ներդրումային արդյունավետ ռազմավարության մշակումն ու տվյալ ոլորտում օպտիմալ ներդրումների կատարումը:

Հարկ է նշել նաև, որ մեծ անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշումների կայացումը բարդ և ստոխաստիկ գործընթաց է, ուստի և ենթադրում է ներդրումային նախագծերի կառավարման ու համապատասխան որոշումների կայացման համար կատարվող ներդրումների դինամիկության, ներդրվող օպտիմալ գումարի չափի և ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարման հաշվառմամբ ավելի ճկուն և կայուն մոդելների մշակում:

Այս համատեքստում ներդրումային նախագծերի կառավարման ժամանակ որոշում կայացնողի վերաբերմունքը մեծ անորոշության նկատմամբ մոդելավորելը կարող է նպաստել ներդրումների կատարման արդյունավետության մակարդակի բարձրացմանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գրիգորյան Ա.Հ.** Կիրառական տնտեսագիտության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում // «Հայկական բանակ». - 2016. - Հտ. 88, 2. - Էջ 97-102:
2. **Gordon L.A., Loeb M.P.** The Economics of Information Security Investment // ACM Transactions on Information and System Security. - 2002. - Vol. 5, N. 4. - P. 438-457.
3. **Grigoryan A.H.** Dynamic Modeling of Cybersecurity Investment // Proceedings of Engineering Academy of Armenia. - 2015. - Vol. 12, N. 3. - P. 455-459.
4. **Epstein L.G., Wang T.** Intertemporal Asset Pricing under Knightian Uncertainty // Econometrica. - 1994. - Vol. 62, N. 2. - P. 283-322.
5. **Chen Z., Epstein L.G.** Ambiguity, Risk, and Asset Returns in Continuous Time // Econometrica. - 2002. - Vol. 70, N. 4. - P. 1403-1443.
6. **Nishimura K.G., Ozaki H.** Irreversible Investment and Knightian Uncertainty // Journal of Economic Theory. - 2007. - Vol. 136, N. 1. - P. 668-694.
7. **Schröder D.** Investment under Ambiguity with the Best and Worst in Mind // Mathematics and Financial Economics. - 2011. - Vol. 4, N. 2. - P. 107-133.
8. **Karatzas I., Shreve S.E.** Brownian Motion and Stochastic Calculus. - New York: Springer-Verlag, 1998. - 496 p.
9. **Duffie D.** Dynamic Asset Pricing Theory. - Princeton: Princeton University Press, 2001. - 472 p.
10. **Dixit A.K., Pindyck, R.S.** Investment under Uncertainty. - Princeton: Princeton University Press, 1994. - 476 p.
11. **Gilboa I., Schmeidler D.** Maxmin Expected Utility with Non-Unique Prior // Journal of Mathematical Economics. - 1989. - Vol. 18, N. 2. - P. 141-153.

Ազգային անվտանգության քաղաքականության և տեղեկատվական – հաղորդակցային տեխնոլոգիաների կենտրոն: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 16.09.2016:

А.Г. ГРИГОРЯН

**ИНВЕСТИЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВЕННЫХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ**

Представлено моделирование принятия инвестиционных решений для обеспечения кибербезопасности в условиях существенных неопределенностей путем расширения инвестиционной модели Гордона-Лоэба. Показано, что отношение лица, принимающего решение, к существенным неопределенностям имеет важное значение в процессе анализа решений. Рассматривается отдельный параметр для моделирования личного отношения лица, принимающего решение, к существенным неопределенностям.

Ключевые слова: кибербезопасность, существенная неопределенность, оптимальная инвестиционная модель.

A.H. GRIGORYAN

**AN INVESTMENT MODEL FOR ENSURING CYBERSECURITY AT ESSENTIAL
AMBIGUITIES**

The modeling of making investment decisions to ensure the cybersecurity at essential ambiguities by the extension of the Gordon-Loeb investment model is introduced. It is shown that the attitude of the decision-maker to essential ambiguities is significant at the decision analysis process. A separate parameter is considered for modeling the personal attitude of the decision-maker to ambiguities.

Keywords: cybersecurity, essential ambiguity, optimal investment model.