

Ա.Հ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ԿԻՔԵՏԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՈԼՈՐՏՈՒՄ ՕՊՏԻՄԱԼ ՆԵՐԴՐՈՒՄԱՅԻՆ
ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՈՒՄԸ ՄԵԾ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ**

Ներկայացված է մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային որոշումների կայացման մոդելավորումը՝ Գորդոն-Լոբբի մոդելի ընդլայնմամբ: Ցույց է տրված, որ մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ որոշումների կայացման դեպքում էականորեն կարևոր են որոշում կայացնողի վերաբերմունքը անորոշության նկատմամբ, ներդրվող օպտիմալ գումարի չափը և ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարումը:

Առանցքային բառեր. կիբեռանվտանգություն, մեծ անորոշություն, օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացում, ժամանակի օպտիմալ կառավարում:

Ներածություն. Կիբեռանվտանգության ապահովման համար կատարվող ներդրումները այլ ոլորտներում կատարվող ներդրումներից տարբերվում են նրանով, որ կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումներից ստացվող եկամուտները դրամական չեն և արտահայտվում են կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի խոցելիության մակարդակի նվազեցմամբ: Բացի այդ, կիբեռանվտանգության ոլորտում կազմակերպության ներդրումային որոշումներն ունեն հետևյալ հատկանիշները. հնարավոր սպառնալիքներից բխող միջավայրն անորոշ է, կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարված ներդրումներն ամբողջությամբ անվերադարձելի են, և կարևոր նշանակություն ունի ներդրում կատարելու որոշման կայացման պատեհաժամությունը [1]:

Մույն աշխատանքում մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացման մոդելավորումն իրականացվում է Գորդոն-Լոբբի ստատիկ մոդելի ընդլայնմամբ, որում առանձին պարամետրով ներկայացվում է որոշում կայացնողի վերաբերմունքը մեծ անորոշության նկատմամբ:

1. Դինամիկական ներդրումային որոշումների կայացումը մեծ անորոշության պայմաններում. 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 հաշվառ-

մամբ 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 $S(z, v)$ մնացյալ խոցելիության մակարդակը [2, 3]:

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

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

իսկ սպասվելիք զուտ եկամուտը՝

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

որտեղ $(v - S(z, v))$ -ն համակարգի խոցելիության մակարդակի նվազեցումն է:

[3]-ում ներկայացված մոդելային անորոշության հաշվառմամբ դիտարկենք այն դեպքը, երբ հավանականության չափման մեջ առկա է մեծ անորոշություն: Այսինքն՝ որևէ կոնկրետ հավանականության փոխարեն որոշում կայացնողը դիտարկում է հավանականությունների $\tilde{P}$ բազմություն [3-5], որը սահմանվում է նաև $\theta = (\theta_t)$ խտության գեներատորի՝ ստոխաստիկ պրոցեսների մի դասի միջոցով, որը կարող է օգտագործվել Q^θ հավանականության գեներացման համար: Նշենք նաև, որ $(\theta_t) \in \Theta$ խտության գեներատորները սահմանափակված են $K = [-k, k]$ ոչ ստոխաստիկ միջակայքով [3, 6], որը P օբյեկտիվ հավանականության շուրջ ձևավորում է հաստատուն մեծ անորոշության միջակայք [3, 7]: Նշենք նաև, որ անվտանգության խաթարմանն ուղղված ξ_t սպառնալիքը դրսևորվում է Բրոունյան շարժման նմանությամբ, հետևաբար, Գիբսսանովի թեորեմի համաձայն [3, 8, 9]՝ ցանկացած $(\theta \in \Theta)$ -ի համար գործում է.

$$d\xi_t = (\mu - \sigma\theta_t)\xi_t dt + \sigma\xi_t dw_t^\theta : \quad (3)$$

Դիտարկենք նաև [3]-ում ներկայացված որոշում կայացնողի վերաբերմունքը մեծ անորոշության նկատմամբ բնութագրող երկու ծայրահեղ նախապատվությունների համակցությունը, որը նկարագրվում է $\alpha \in [0, 1]$ պարամետրով, ինչպես նաև α -սպասվելիք արժեքը, որը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտության միջոցով.

$$E^\alpha[f(x)] = \alpha \sup_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)] + (1 - \alpha) \inf_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)], \quad (4)$$

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

2. Օպտիմալ ներդրումների կատարումը մեծ անորոշության պայմաններում. Կիբեռանվտանգության ապահովման համար t ժամանակից հետո միանգամյա (ողջ կյանքի համար) ներդրումից ստացված եկամուտի f ֆունկցիան ներկայացնենք ապագա եկամուտների ընթացիկ արժեքի հաշվառմամբ.

$$f(\pi_t) = \int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} \pi_s ds, \quad (5)$$

$$\pi_t = (v - S(z, v)) \lambda \xi_t, \quad (6)$$

որտեղ π_t ներդրումից սպասվելիք եկամուտն է, այսինքն՝ ներդրումից հետո սպասվելիք կորստի նվազեցումը, v -ն՝ համակարգի խոցելիության մակարդակը, ξ_t -ն՝ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքը, z -ը՝ անվտանգության ապահովման նպատակով կատարված ներդրման արժեքը, $S(z, v)$ -ն՝ ներդրումից հետո մնացյալ խոցելիության մակարդակը, իսկ ρ -ն՝ անընդհատ կուտակվող տոկոսադրույքը:

Այժմ ենթադրենք, թե v -ն և λ -ն ժամանակից կախված չեն, և անվտանգության ապահովման համար ներդրումը t ժամանակում կատարվում է միայն մեկ անգամ: Սրանից հետևում է, որ ներդրումից հետո մնացյալ խոցելիության մակարդակը՝ $S(z, v)$ -ն, նույնպես ժամանակից կախված չէ:

Փոխարինելով (3), (5) և (6) հավասարումները (4)-ով՝ կիբեռանվտանգության ապահովման նպատակով կատարված ներդրումից ստացվող α -սպասվելիք արժեքի համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը.

$$W\left(\frac{\xi_t}{\alpha}\right) = \alpha \sup_{Q^\theta \in \tilde{P}} E_t^{Q^\theta} \left[\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds \right] + \\ + (1 - \alpha) \inf_{Q^\theta \in \tilde{P}} E_t^{Q^\theta} \left[\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds \right]: \quad (7)$$

Նշենք, որ վերը նշվածի համաձայն՝ մեծ անորոշությունը մոդելավորվում է $\tilde{P} = \{Q^\theta / \theta \in \Theta\}$ հավանականությունների բաշխումների բազմության միջոցով, իսկ մեծ անորոշության աստիճանը բնութագրվում է $K = [-k, k]$ խտության գնե-րատորի միջակայքով [6]:

Կիբեռանվտանգության ապահովման համար կատարված ներդրման անորոշ եկամուտի հոսքով α -սպասվելիք արժեքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ.

$$W(\xi_t / \alpha) = (v - S(z, v)) \lambda \xi_t \left(\frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa \sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa \sigma)} \right), \quad (8)$$

որտեղից երևում է, որ մեծ անորոշության բացակայության դեպքում, այսինքն՝ ($k = 0$), (8) հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$W_t = \frac{(v-S(z,v))\lambda\xi_t}{\rho-\mu} : \quad (9)$$

Հարմարավետության համար (8) հավասարման փակագծերում գրվածը փոխարինենք Ψ պարամետրով.

$$\Psi = \frac{\alpha}{\rho-(\mu+\kappa\sigma)} + \frac{1-\alpha}{\rho-(\mu-\kappa\sigma)} : \quad (10)$$

Արդյունքում՝ (10)-ի հաշվառմամբ (8) հավասարումը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$W(\xi_t/\alpha) = (v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi : \quad (11)$$

Ուստի՝ կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրման օպցիոնի արժեքը որոշելու համար որոշում կայացնողը կհամեմատի ներդրումից սպասվելիք $W(T_t/\alpha)$ եկամուտը z ներդրման արժեքի հետ.

$$F(\xi_t/\alpha) = \max\{W(\xi_t/\alpha) - z, 0\} = \max\{(v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi - z, 0\} \quad (12)$$

և $(v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi > z$ լինելու դեպքում ներդրումը կիրականացվի:

Կիբեռանվտանգության ապահովման համար օպտիմալ ներդրում կատարելիս անհրաժեշտ է հաշվել կազմակերպության տեղեկատվական համակարգը խաթարող սպառնալիքի կրիտիկական մակարդակը.

$$\xi^* = \frac{z}{(v-S(z,v))\lambda\Psi} = \frac{z}{(v-S(z,v))\lambda\left(\frac{\alpha}{\rho-(\mu+\kappa\sigma)} + \frac{1-\alpha}{\rho-(\mu-\kappa\sigma)}\right)} : \quad (13)$$

Հետևաբար՝ որոշում կայացնողը կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրում կկատարի միայն ու միայն այն դեպքում, երբ ξ_t -ն գերազանցում է սպառնալիքի ξ^* կրիտիկական մակարդակը, հակառակ դեպքում՝ ներդրումը չի կատարվի:

3. Ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարումը մեծ անորոշության պայմաններում. Վերը դիտարկված մոդելի համաձայն՝ որոշում կայացնողը կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումը կատարում է միանգամից և ամբողջական կամ դադարեցնում է այն: Սակայն իրականում ներդրումային նախագծի իրականացումը հնարավոր է որոշակի ժամանակով հետաձգել՝ ներդրման համար ավելի բարենպաստ պայմանների ի հայտ գալու ակնկալիքով:

Ընդլայնենք վերը դիտարկված ներդրումային մոդելը՝ սահմանափակելով անհապաղ ներդրում կատարելու անհրաժեշտության պայմանը: Այս դեպքում ներդրում կատարելու օպտիմալ պահը որոշելը և ներդրումային նախագծից ստացվող եկամուտը $\tilde{t} \in [t, \infty)$ ժամանակում առավելագույնի հասցնելը դառնում են էականորեն կարևոր գործոններ:

Հարկ է նշել, որ մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում ներդրումային խնդիրն ունի հետևյալ տեսքը.

$$F_t = \max_t E_t \left[\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds - e^{-\rho(\bar{t}-t)} z \right] : \quad (14)$$

Ընդհանուր առմամբ, (14) հավասարմամբ նկարագրվող խնդիրը անվերադարձելի դրամական միջոցներով պայմանավորված ներդրումային խնդիր է: Քանի որ անորոշ ժամանակով պայմանավորված ներդրումային խնդիրն ունի ռեկուրսիվ կառուցվածք, ապա այն կարելի է լուծել դինամիկ ծրագրավորման միջոցով [10]:

Սակայն, ի տարբերություն (12) հավասարմամբ նկարագրված մաքսիմացման խնդրի՝ որոշում կայացնողն այժմ առնչվում է հավանականությունների բաշխման $\tilde{P}$ բազմությանը: Արդյունքում, կիրառելով α -սպասվելիք արժեքի գաղափարը, ստացվում է հետևյալ մաքսիմացման խնդիրը.

$$F(\xi_t/\alpha) = \max_{t \in [t, \infty)} E_t^\alpha \left[\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds - e^{-\rho(\bar{t}-t)} z \right] : \quad (15)$$

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ $\tilde{P}$ բազմությունը քառակուսային է, ապա բացարձակ վատատեսության ($\alpha = 0$) կամ բացարձակ լավատեսության ($\alpha = 1$) դեպքերում այս երկու պայմաններն ունեն ռեկուրսիվ կառուցվածք [5]:

Այսպիսով՝ կարելի է ասել, որ բացարձակ լավատեսական ($\alpha = 1$) կամ բացարձակ վատատեսական ($\alpha = 0$) որոշումներ կայացնելու դեպքերում ներդրում կատարելու համար ընդունելի ընթացիկ շահույթի կրիտիկական մակարդակը՝ $(v - S(z, v)) \lambda \xi_t$ կունենա հետևյալ տեսքը.

$$(v - S(z, v)) \lambda \xi^* = \frac{b}{(b-1)\Psi} z, \quad (16)$$

որտեղ b -ն ստացվում է՝

$$b = \frac{1}{2} - \frac{\eta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\eta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (17)$$

բանաձևով, իսկ η -ն՝

$$\eta = \alpha(\mu + \sigma k) + (1 - \alpha)(\mu - \sigma k) : \quad (18)$$

Ուստի՝ ներդրման օպցիոնն իրականացվում է, այսինքն՝ ներդրումը կատարվում է այն ժամանակ, երբ $(v - S(z, v)) \lambda \xi_t$ -ը գերազանցում է $(v - S(z, v)) \lambda \xi^*$ -ին: Հարկ է նշել, որ (16) հավասարումը շատ նման է մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում ներդրում կատարելու կրիտիկական կետը նկարագրող հավասարմանը, որում $(v - S(z, v)) \lambda \xi$ -ն տրված է՝

$$(v - S(z, v))\lambda\xi = \frac{b}{b-1}z(\rho - \mu), \quad (19)$$

որտեղ b -ն հաշվվում է η -ն փոխարինելով μ -ով: Նշենք նաև, որ α և k պարամետրերից է կախված կրիտիկական մակարդակի՝ ստանդարտ դեպքից բարձր կամ ցածր լինելը: Մեծ անորոշության բացակայության կամ անորոշությունից խուսափելու ($\alpha = 0$) դեպքում կրիտիկական մակարդակը՝ $(v - S(z, v))\lambda\xi^*$ անորոշության առկայության պայմանում միշտ ավելի բարձր է, քան դրա բացակայության ժամանակ: Քանի որ ներդրում կատարելիս որոշում կայացնողի վերաբերմունքը ապագայի նկատմամբ հիմնականում գնահատվում է վատատեսական սցենարով [11], ուստի դրական ներդրումային որոշումների կայացման համար անհրաժեշտ է, որ նշված պայմանները հասնեն ավելի բարձր մակարդակների: Իհարկե, ($k = 0$)-ի դեպքում կրիտիկական մակարդակները համընկնում են: Այսպիսով՝ ներդրում կատարելու օպցիոնի արժեքը ստացվում է հետևյալ բանաձևով.

$$F(\xi_t/\alpha) = \frac{(b-1)(b-1)}{z^{(b-1)b}b} [(v - S(z, v))\lambda\xi_t\P]^b = \frac{(b-1)(b-1)}{z^{(b-1)b}b} [W(\xi_t)]^b, \alpha \in \{0; 1\}: \quad (20)$$

Իսկ ներդրում կատարելու օպտիմալ գումարը՝ z^* -ը ստացվում է (20)-ը ξ^* կրիտիկական մակարդակում մաքսիմացնելով.

$$z(\xi^*) = \operatorname{argmax}_{z \in R} F(\xi^*; z/\alpha): \quad (21)$$

Եզրակացություն: Կիբեռանվտանգության ոլորտում մեծ անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշումների կայացումը բարդ և ստոխաստիկ գործընթաց է: Ուստի համապատասխան ներդրումային որոշումների կայացման համար անհրաժեշտ է մշակել ներդրումների դինամիկության, ներդրվող օպտիմալ գումարի չափի և ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարման հաշվառմամբ ավելի ճկուն և ռոբաստ մոդելներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գրիգորյան Ա.Զ.** Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում // Հայկական բանակ. - 2016. - Հտ. 88, Հմ. 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. **Գրիգորյան Ա.Զ.** Կիբեռանվտանգության ապահովման ներդրումային մոդել՝ էական անորոշության պայմաններում // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. - 2017. - Հ. 70, N. 1. - Էջ 115-122:
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.

ՀՀ ՊՆ Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանի Ազգային անվտանգության քաղաքականության և տեղեկատվական – հաղորդակցային տեխնոլոգիաների կենտրոն: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.04.2017:

А.Г. ГРИГОРЯН

ПРИНЯТИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Проведено моделирование принятия инвестиционных решений в области кибербезопасности в условиях больших неопределенностей путем расширения инвестиционной модели Гордона-Лоэба. Показано, что отношение к большим неопределенностям лица, принимающего решение, определение оптимальной суммы инвестиций и оптимальное управление временем имеют важное значение в принятии оптимальных решений в области кибербезопасности в условиях больших неопределенностей.

Ключевые слова: кибербезопасность, большая неопределенность, принятие оптимальных инвестиционных решений, оптимальное управление временем.

A.H. GRIGORYAN

OPTIMAL INVESTMENT DECISION-MAKING IN THE SPHERE OF CYBERSECURITY UNDER AMBIGUITY

The modeling of taking investment decisions in the sphere of cybersecurity under ambiguity by the extension of the Gordon-Loeb investment model is introduced. It is shown that the attitude of the decision-maker to the ambiguity, the optimal amount of investment and the optimal timing are significant when making optimal investment decisions in the sphere of cybersecurity under ambiguity

Keywords: cybersecurity, ambiguity, optimal investment decision-making, optimal timing.