

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՎՐՈՊԱԿԱՆ ԿՐԹԱԿԱՆ ՏԱՐԱԾԱԾՐՋԱՆԱՅԻՆ
ԱԿԱԴԵՄԻԱ

Գրիգորյան Արման Հրանտի

ՆԵՐԴՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ՌԱԶՄԱՎԱՐԱԿԱՆ
ՎՃԻՌՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄԸ
ԿԻԲԵՌԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՈԼՈՐՏՈՒՄ

Ե.13.02 - «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտու թյամբ
տեխնիկական գիտություններին թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

Գիտական ղեկավար՝
տեխնիկական գիտություններին դոկտոր,
պրոֆեսոր Է.Վ. Ղարսլյան

ԵՐԵՎԱՆ 2017

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ	1
ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	4

ԳԼՈՒԽ 1. ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍԱԿԱՆ ԵՎ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԻՄՔԵՐԸ:	
ՀԻՄՆԱԽՆԴՐԻ ՄՇԱԿՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԸ	16
1.1. Ներդրումների հիմնախնդիրը կիբեռանվտանգության ոլորտում	16
1.2. Ներդրումների միափուլ մոդելը	29
1.3. Ներդրումների իրագործումը իրական օպցիոնների միջոցով	33
1.4. Հիմնախնդրի տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը	36
Եզրակացություններ 1-ին գլխի վերաբերյալ	39
ԳԼՈՒԽ 2. ՆԵՐԴՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԶԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ ՀԵՏԱԶՈՏՎՈՂ ՀԻՄՆԱԽՆԴՐԻ ՀԱՄԱՏԵՔՍՈՒՄ	40
2.1. Անորոշության ազդեցությունը ներդրում կատարելու վարքագծի վրա	40
2.2. Կիբեռապառնալիքների մոդելավորումը պատահական պրոցեսների միջոցով	46
2.3. Ներդրումների դինամիկական մոդելավորումը	57
2.4. Ներդրումների երկփուլ մոդելը մեծ անորոշության պայմաններում	64
Եզրակացություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ	69
ԳԼՈՒԽ 3. ՆԵՐԴՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ ԲԱՐՁՐ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԱՆՈՐՈՇՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ	70
3.1. Օպտիմալ ներդրումների մոդելավորումը իրական օպցիոնների միջոցով	70
3.2. Մոդելային անորոշություն	80
3.3. Օպտիմալ ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում	82
3.4. Շեղումակայուն ներդրումային վճիռների կայացումը	87
Եզրակացություններ 3-րդ գլխի վերաբերյալ	97

ԳԼՈՒԽ 4. ՌԱԶՄԱՎԱՐԱԿԱՆ ՎՃԻՌՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆՆ ՈՒՂՂՎԱԾ ԱՌԱՋԱԴՐՎՈՂ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՓԱԹԵԹԻ (ԿԾՓ) ՄՇԱԿՈՒՄՆ ՈՒ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ	98
4.1. ԿԾՓ-ի կառուցվածքը, բնութագրերն ու հնարավորությունները	98
4.2. ԿԾՓ-ի հիմնական դասերը	100
4.3. ԿԾՓ-ի աշխատանքային միջավայրը	103
4.4. Փորձնական հետազոտություններին կատարումը	106
Եզրակացություններ 4-րդ գլխի վերաբերյալ	114
ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄ	115
ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ	118
ՀԱՎԵԼՎԱԾ. ՕՊՑԻՈՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐ	128

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Թեմայի արդիականությունը և հրատարակությունը

Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների բուռն զարգացումը մեծացրել է հասարակական ոլորտների կախումը թվային տեխնոլոգիաներից՝ հանգեցնելով տեղեկութայնության հասարակության ձևավորմանը: Դառնում է ինչպես մի շարք միանգամայն նոր հնարավորությունների ստեղծմամբ, այնպես էլ տարաբնույթ կիբեռնոսփայլի խթանների առաջացմամբ: Կազմակերպության, այդ թվում՝ պետության տեղեկատվական համակարգերի դեմ ուղղված կիբեռնոսփայլի խթանները տարբերվում են ոչ միայն իրենց ձևով, այլև վնասակարության աստիճանով: Ներկայումս պետությունների ու կազմակերպությունների մեծ մասը հաճախ բախվում են որոշակի խնդիրների լուծման համար ռեսուրսների անբավարարությանը և կիբեռնանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշությունների: Ուստի կիբեռնանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշության և կոնկրետ խնդիրների լուծման համար ռեսուրսների անբավարարության, ինչպես նաև կիբեռնոսփայլի խթանների բարդ և պատահական (ստոխաստիկ) բնույթի ու կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի վրա դրանց հնարավոր բացասական ազդեցության հաշվառմամբ՝ հատկապես կարևոր է դառնում տվյալ ոլորտում ճիշտ ներդրումների կատարումը:

Ի տարբերություն այլ ոլորտների՝ կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումներից ստացվող եկամուտները դրամական չեն և արտահայտվում են պաշտպանության կարիք ունեցող տեղեկատվական համակարգերի ու տեղեկատվական ակտիվների խոցելիության մակարդակի նվազմամբ: Ըստ այդմ կիբեռնոսփայլի խթանների բարդ և պատահական (ստոխաստիկ) բնույթի հաշվառմամբ կիբեռնանվտանգության ռեսուրսներն ու տեղեկատվական ակտիվները պաշտպանելու համար անհրաժեշտ է դառնում ներդրումային նախագծերի արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման համար

ավելի ճկուն ու շեղումակայուն (ռոբաստ) մոդելների և ներդրումային արդյունավետ ազմավարության ներքին մշակումն ու ավտոմատացումը, ինչը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում կայացվող որոշումների օպերատիվությանն ու հիմնավորվածության մակարդակը:

Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման կիրառական ծրագրերի մեծ մասին հատուկ են հետևյալ թերությունները.

- կիբեռսպառնալիքների պատահական բնույթի հաշվառման բարդ լինելը,
- կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա բարձր մակարդակի անորոշությունը,
- բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումային մոդելների մշակման բարդությունը,
- կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների գնահատման ստատիկ մոդելների նվազ արդյունավետությունը,
- մեկ համակարգում մի քանի մեթոդների կիրառման անհնար լինելը:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ կիբեռանվտանգության ոլորտում ռիսկերի և անորոշության գործոնների ու ներդրումային որոշումների վրա դրանց ազդեցության մոդելավորման, ներդրումների արդյունավետության գնահատման և բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշումների կայացման ավտոմատացված համակարգի մշակումը խիստ արդիական է:

Յիմնախնդրի մշակվածության աստիճանը

Յիմնախնդրի լուծման վերաբերյալ ներկայումս ստացված են ստատիկ մոդելների կիրառմամբ մի շարք կարևոր արդյունքներ, որոնցում կիբեռսպառնալիքի առաջացման հավանականությունը չի փոփոխվում ժամանակի ընթացքում: Սակայն սպառնալիքները, ըստ էության, դինամիկ են և ունեն անորոշության բարձր

մակարդակ: Այդպիսի ստատիկ մոդելներ են դիտարկվում Բոդինի, Բաթլերի, Գորդոնի և Լոեբի, Յուանգի, Միցցիի, Թալաուի, Վոնգի և այլ հեղինակների կողմից կատարված հետազոտական աշխատանքներում [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]: Նշված մոդելներից ամենահայտնի ու հաճախ կիրառվող մոդել կարելի է համարել Գորդոնի և Լոեբի միափուլ ստատիկ ներդրումային մոդելը [6, 11, 12]: Գորդոն-Լոեբի միափուլ ստատիկ մոդելի ընդլայնմամբ Տացումիի և Գոտոյի աշխատանքում ներկայացված է դինամիկ մոդել [13], որտեղ կիբեռսպառնալիքը դիտարկվում է որպես պատահական պրոցես, որում սակայն հաշվի չի առնվում կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա բարձր մակարդակի անորոշությունը:

Յետազոտության նպատակը և խնդիրները

Ատենախոսության նպատակն է կիբեռանվտանգության ոլորտում կազմակերպությունների ներդրումների արդյունավետության ավտոմատացված գնահատման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերի մշակումը, ինչպես նաև տվյալ ոլորտում բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրողների վարքագծի և ներդրումային որոշումների կայացման մոդելավորումը:

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակով կանխորոշվել է հետևյալ փոխկապակցված խնդիրների առաջադրումն ու հետևողական լուծումը.

- 1) բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրողների վարքագծի գնահատման համակարգի մոդելավորման և ավտոմատացման համար պատահական պրոցեսների տեսության մեթոդների և իրական ներդրումների ոլորտում կատարված ժամանակակից հետազոտությունների արդյունքների կիրառման հնարավորության բացահայտումը,
- 2) ներդրումային որոշումների կայացման գործընթացում ստոխաստիկ համակարգերի ավտոմատացված մոդելավորման մեթոդների և մոդելների ուսումնասիրությունը,

- 3) տարբեր տեսակի պատահական պրոցեսների միջոցով կիբեռսպառնալիքների մոդելավորման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերի մշակումը,
- 4) կիբեռսպառնալիքներում առկա բարձր մակարդակի անորոշույթյամբ պայմանավորված ներդրումների և անորոշույթյան միջև ընդհանուր հատկությունների և փոխկապվածության ուսումնասիրությունը,
- 5) ստոխաստիկ պրոցեսների կարևոր դասի, մասնավորապես շոկեբրոուների շարժմամբ նկարագրվող բարձր մակարդակի անորոշույթյան պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը,
- 6) կիբեռանվտանգության ոլորտում որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող առանձին պարամետրերի ներմուծմամբ ներդրումների մոդելավորման ավտոմատացումը,
- 7) շեղումակայուն (ռոբաստ) պատահական (ստոխաստիկ) դինամիկական ծրագրավորման հիման վրա բարձր մակարդակի անորոշույթյան պայմաններում կիբեռառեսուրսների կառավարման ներդրումային որոշումների մոդելավորումը,
- 8) ավտոմատացված համակարգի ստեղծման հայեցակարգի և ճարտարապետության ձևավորումը,
- 9) ավտոմատացման համակարգի իրագործման համար կիրառական ծրագրերի փաթեթի (ԿԾՓ) մշակումը:

Յեռագոտության օբյեկտ

Յեռագոտության օբյեկտը կազմակերպության կիբեռանվտանգությունն է, դրա հետ կապված տեղեկատվական ակտիվներն ու դրանց պաշտպանության միջոցները:

Յեռագոտության առարկան

Յեռագոտության առարկան բարձր մակարդակի անորոշույթյան պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման մոդելների մշակումն ու ավտոմատացումն է իրական ներդրումների տեսության հիման վրա:

Յեռագոտության տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը

Որպես ատենախոսության մեթոդաբանական հիմք օգտագործվել է համակարգային մոտեցումը, որը հնարավորություն է տվել անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության համակարգի ու կիբեռսպառնալիքների բարդ և ստոխաստիկ բնույթի, դրանցում առկա բարձր մակարդակի անորոշության գործոնի հաշվառմամբ ուսումնասիրել տվյալ ոլորտում իրական ներդրումների կատարման ու համապատասխան որոշումների կայացման առանձնահատկությունները և մշակել անորոշության պայմաններում օպտիմալ ներդրումային մոդելներ:

Ատենախոսության շրջանակներում կիրառվել են համակարգային վերլուծության և ավտոմատացված մոդելավորման ընդհանուր հետազոտական մեթոդներ:

Հետազոտության մեթոդները

Հետազոտվող խնդրի տեսական և մեթոդաբանական հիմքերի վերլուծությանը, ինչպես նաև օբյեկտի և առարկայի ընտրությանը, ելնելով հետազոտվող խնդրի մշակվածության աստիճանից, հնարավորություն է տալիս ընտրել մի շարք հետազոտական մեթոդներ կիբեռանվտանգության ոլորտում՝ գիտականորեն հիմնավորված արդյունքներ ստանալու համար: Մասնավորապես ատենախոսությունում օգտագործվել են պատահական պրոցեսների տեսության, ֆունկցիոնալ անալիզի, շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորման մեթոդները, ինչպես նաև բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում իրական ներդրումների ժամանակակից տեսությունները:

Հետազոտության գիտավարկածը

Բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացման խնդրի լուծումը հնարավոր է իրականացնել պատահական պրոցեսների տեսության մեթոդների կիրառմամբ՝ բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումների արդյունավետության գնահատման համակարգի և

ներդրողների վարքագծի մոդելավորման և ավտոմատացման միջոցով:

Յեռագոտության գիտական նորույթը

Յեռագոտության գիտական նորույթը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման մոդելների մշակումն է և ներդրողների վարքագծի մոդելավորման հայեցակարգային զարգացումը՝ պատահական պրոցեսների և իրական ներդրումների ժամանակակից տեսությունների օգտագործմամբ: Ատենախոսական աշխատանքում ստացվել են գիտական նորույթ պարունակող հետևյալ արդյունքները.

- 1) մշակվել են կիբեռսպառնալիքների ավտոմատացված մոդելավորման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը պատահական պրոցեսների գործնականորեն կարևոր դասի հիման վրա,
- 2) մշակվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների և անորոշության միջև առկա փոխկապվածությունն ու ընդհանուր առանձնահատկություններն ու սումնասիրել ու ընթացակարգերը,
- 3) մշակվել է ներդրումային մոդել՝ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ,
- 4) առաջարկվել է բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների կատարման մոդել՝ շնկեբրոունյան շարժման հիման վրա,
- 5) առաջարկվել է բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռնեսուրսների կառավարման համար ներդրումային որոշումների կայացման մոդել՝ շեղումակայուն (ռոբաստ) ստոխաստիկ դինամիկական ծրագրավորման հիման վրա,

6) մշակվել է բարձր մակարդակի անորոշու թյան պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման ավտոմատացված համակարգ:

Հետազոտության տեսական և կիրառական նշանակութունը

Հետազոտության տեսական նշանակութունը կիբեռսպառնալիքների և կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորման մեթոդների հայեցակարգային զարգացումն է պատահական պրոցեսների և իրական ներդրումների ժամանակակից տեսությունների օգտագործմամբ:

Հետազոտության կիրառական նշանակութունը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման մոդելների մշակումն ու ավտոմատացումն է:

Հետազոտության արդյունքների հավաստիութունը

Հետազոտության արդյունքների հավաստիութունը հիմնավորվում է պատահական պրոցեսների տեսության և իրական ներդրումների տեսության ժամանակակից մեթոդների կիրառմամբ, ինչպես նաև ատենախոսական աշխատանքում առաջարկված մեթոդների, ալգորիթմների և ծրագրերի գործնական կիրառման արդյունքներով:

Ատենախոսության արդյունքների ներդրումը

Ատենախոսական աշխատանքում ստացված մոդելներն ու մոտեցումները և դրանց հիման վրա մշակված կիրառական ծրագրերի փաթեթն օգտագործվել են ՀՀ Պաշտպանության նախարարության Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանում գիտահետազոտական ու վերլուծական-կանխատեսումային նախագծերի կառավարման նպատակով (Ներդրման ակտ, N 340, 21.11.2017 թ.):

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

Պաշտպանությունը ներկայացվող հիմնական դրույթներն են.

- 1) պատահական պրոցեսների գործնականորեն կարևոր դասի հիման վրա մշակված կիբեռնապառնալիքների ավտոմատացված մոդելավորման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը,
- 2) կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների և անորոշության միջև առկա փոխկապվածությունն ու ընդհանուր առանձնահատկություններն ուսումնասիրելու ընթացակարգերը,
- 3) կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ մշակված ներդրումային մոդելը,
- 4) կիբեռանվտանգության ոլորտում բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում շոկեբրոուսյան շարժման հիման վրա մշակված ներդրումային մոդելը,
- 5) բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռնետուրսների կառավարման համար շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորման հիման վրա մշակված ներդրումային որոշումների կայացման մոդելը,
- 6) բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման ավտոմատացված համակարգը:

Յետագոտական տվյալների փորձաքննությունը

Ատենախոսության հիմնական գիտակիրառական դրույթներն ու արդյունքները գեկուցվել են.

- Եվրոպական կրթական տարածաշրջանային ակադեմիայի (ԵԿՏԱ) ամենամյա գիտաժողովներում և ԵԿՏԱ «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կիրառական մաթեմատիկա» ամբիոնի գիտական սեմինարներում (2011-2015 թթ.),

- ԱՄՆ-ի Պաշտպանական ազգային համալսարանի գիտաժողովներում (2014թ.),
- ՀՀ Ֆրանս-գերմանական բարձրագույն ինժեներական ինստիտուտի գիտակիրառական սեմինարներում (2013-2016 թթ.),
- ՀՀ Պաշտպանության նախարարության Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանի ամենամսյա գիտական սեմինարներում և գիտաժողովներում (2015-2016 թթ.):

Ատենախոսության կառուցվածքն ու ծավալը

Աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլխից, եզրահանգումից և հավելվածից: Հիմնական տեքստը շարադրված է 123 տպագիր էջի վրա՝ ներառյալ 14 նկար և 1 աղյուսակ: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը կազմում է 128 էջ, ներառյալ հավելվածն ու ներդրման ակտը: Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն արտացոլված են հրատարակված 13 գիտական աշխատություններում: Գրականության ցանկն ընդգրկում է 135 անվանում:

Ներածությունում հիմնավորված է աշխատանքի թեմայի արդիականությունը, ներկայացված են ատենախոսության նպատակն ու խնդիրները, գիտական նորույթը, աշխատանքի տեսական և կիրառական նշանակությունը, ինչպես նաև պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները: Տրված է աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը:

Առաջին գլխում ներկայացված է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների հիմնախնդրի մշակվածությանը վերաբերող աշխատանքների համառոտ վերլուծությունը: Տույց է տրված, որ հիմնախնդրի լուծման համար տարբեր հեղինակների կողմից կատարված է մեծ աշխատանք, սակայն առաջարկված մոդելները հիմնականում ստատիկ են և չեն արտահայտում կիբեռսպառնալիքների ստոխաստիկ բնույթն ու կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշությունը:

Յուլյց է տրված կիբեռսպառնալիքների ստատիկ մոդելները դիտարկելու համատեքստում ընդհանրացնելու անհրաժեշտությունը: Արվել է եզրակացություն նպատակական պրոցեսների տեսության ժամանակակից գործիքարանի, պատահական դիտարկելու ծրագրավորման կիրառման նպատակահարմարության ու շեղումակայուն որոշումների կայացման, ինչպես նաև հետազոտության շրջանակներում դիտարկված խնդիրների լուծման ավտոմատացված մոտեցման կիրառման անհրաժեշտության վերաբերյալ:

Գլխի վերջում արված եզրակացությունների հիման վրա առաջադրվել են ատենախոսության հիմնական նպատակն ու դրանից բխող խնդիրները:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդրի «ներդրում-անորոշություն» փոխկապվածության մոդելը: Հետազոտված են ներդրումային խնդրի ոչ մոնոտոնությունն ու բարդությունը, ինչպես նաև անորոշության ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վարքագծի վրա: Բրոունյան և շոկեբրոունյան շաժումների հիման վրա մշակվել են կիբեռսպառնալիքների մոդելները բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում: Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը: Արվել է եզրակացություն «սպասենք-տեսենք» ռազմավարության կիրառման նպատակահարմարության վերաբերյալ: Տրվել է երկփուլ մոդելի ընդհանրացումը բազմափուլության և անընդհատության համատեքստում: Յուլյց է տրվել կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդիրների լուծման տարանջատման գաղափարը, որը հիմնված է Բելմանի օպտիմալության սկզբունքի վրա: Ի տարբերություն ներդրումների ստատիկ միափուլ մոդելների՝ երկփուլ և բազմափուլ մոդելները ներդրումների դիտարկելու ընդհանրացված հնարավորություն են տալիս: Առաջարկվել է

կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում:

Գլխի վերջում արվել են համապատասխան եզրակացություններ ներդրումների դինամիկ մոդելների և պատահական պրոցեսների վրա հիմնված կիբեռսպառնալիքների մոդելների մշակման և կիրառման վերաբերյալ:

Երրորդ գլխում ներկայացված են կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային ռազմավարությունների առանձնահատկությունները: Ուսումնասիրված է ներդրումային նախագծի վրա ռիսկերի և բարձր մակարդակի անորոշության ազդեցությունը: Առաջարկված է բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների բազային մոդելը շոկեբրոունյան պրոցեսի հիման վրա: Ներկայացված է ներդրումային մոդելում առկա բարձր մակարդակի անորոշությունը (մոդելային անորոշություն): Մշակված է ներդրումային մոդել՝ ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ: Ցույց է տրվել, որ եթե որոշում կայացնողը ամբողջովին վստահ չէ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքը բնութագրող պարամետրի հարցում, այսինքն՝ հավանականության մեջ առկա է բարձր մակարդակի անորոշություն, ապա որևէ կոնկրետ հավանականության փոխարեն որոշում կայացնողը կարող է դիտարկել հավանականությունների բաժանում: Ներմուծված α սպասվող արժեքի միջոցով որոշում կայացնողը α կշռով դիտարկում է լավագույն հնարավոր սցենարը, իսկ $(1 - \alpha)$ կշռով՝ վատագույնը:

Ներկայացված է նաև օպտիմալ ներդրումների մոդելավորումը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում: Ցույց է տրված, որ կիբեռանվտանգության ոլորտում կարելի է կատարել օպտիմալ ներդրումներ՝ կիրառելով հետաձգման օպցիոնը և առավել արկելով ներդրում կատարելու օպտիմալ գումարը կրիտիկական մակարդակում:

Ներկայացված են նաև կիբեռանվտանգության ոլորտում շեղումակայուն ներդրումային որոշումների կայացման մոդելները հարաբերական էնտրոպիայի և պատահական շեղումակայուն դինամիկական ծրագրավորման օգտագործմամբ: Ցույց է տրված, որ տվյալ մոդելների կիրառումը կարող է եականորեն բարձրացնել կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշության պայմաններում կատարվող ներդրումների արդյունավետության մակարդակը:

Գլխի վերջում արվել են համապատասխան եզրակացություններ ատենախոսության շրջանակներում մշակված մոդելների կիրառմամբ օպտիմալ ներդրումների կատարման վերաբերյալ:

Չորրորդ գլխում ներկայացված են ատենախոսության շրջանակներում մշակված մոդելների ավտոմատացման համար ստեղծված կիրառական ծրագրերի փաթեթի (ԿԾՓ) կառուցվածքը, բնութագրերն ու հնարավորությունները, ԿԾՓ-ի հիմնական դասերն ու աշխատանքային միջավայրը, ինչպես նաև ատենախոսության մեջ դիտարկվող մոդելների վերաբերյալ թվային օրինակներ: Փաթեթը մշակված է Java ծրագրավորման լեզվով, նախատեսված է անհատական օգտագործման համակարգիչների համար: Ստացվող արդյունքները ներկայացվում են թվային և գրաֆիկական ռեժիմներում: Փաթեթի օբյեկտային կոդմնորոշվածությունը հնարավորություն է տալիս հետագայում ընդլայնել այն ներդրումային այլ մոդելների համար մշակվող ծրագրերով:

Գլխի վերջում բերվել են համապատասխան եզրակացությունները ատենախոսության շրջանակներում դիտարկված մոդելների համար մշակված կիրառական ծրագրերի փաթեթի վերաբերյալ:

Եզրահանգման մեջ ներկայացվել են ատենախոսության մեջ ստացված հիմնական գիտական արդյունքները:

Աշխատանքն ավարտվում է օգտագործված գրականության ցանկով:

ԳԼՈՒԽ 1. ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍԱԿԱՆ ԵՎ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԻՄՔԵՐԸ:
ՀԻՄՆԱԽՆԴՐԻ ՄՇԱԿՎԱԾՈՒԹՅԱՆ
ԱՍՏԻՃԱՆԸ

**1.1. Ներդրումների հիմնախնդիրը կիրենռանվտանգության
ոլորտում**

Մարդկության զարգացման արդի փուլում տեղեկատվական-հաղորդակցային տեխնոլոգիաների սրընթաց աճը էականորեն նպաստում է տեղեկության ակեսորոն հասարակության ձևավորմանը, ինչն իր հերթին մի շարք առավելություններին զուգընթաց ի հայտ է բերում տեղեկատվությունից ու տեղեկատվական համակարգերից հասարակության զգալի կախվածություն և դրանով պայմանավորված մի շարք նոր հնարավորություններ և տարաբնույթ կիրենռասպառնալիքներ: Կիրենռասպառնալիքների առաջացման պատճառները կարող են լինել օբյեկտիվ (կրելով պատահական բնույթ) և սուբյեկտիվ (կանխամտածված)՝ տեղիք տալով կիրենռանվտանգության խախտումների և վնասելով տեղեկատվական համակարգերը: Կիրենռասպառնալիքները տարբերվում են ոչ միայն իրենց ձևով, այլև վնասակարության աստիճանով և կարող են զգալի չափով խաթարել կազմակերպության, ինչպես նաև պետության անվտանգության ապահովման համակարգի բոլոր բաղադրիչների արդյունավետ գործունեությունը: Ուստի հաշվի առնելով կիրենռասպառնալիքների բարդ և պատահական (ստոխաստիկ) բնույթը, ինչպես նաև կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի վրա դրանց հնարավոր բացասական ազդեցությունը՝ հատկապես կարևոր է դառնում տվյալ ոլորտում ճիշտ ներդրումների կատարումը:

Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների բուռն զարգացման և համատարած թվայնացման պայմաններում կիրենռապատահարները անխուսափելի են դարձել ցանկացած կազմակերպության համար: Հաշվի առնելով նշվածը՝ կազմակերպությունների համար հավանական կիրենռապատահարների

բախվելուց զատ կարևոր է բացահայտել, թե դրանք երբ տեղի կունենան [14]: Այս համատեքստում կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի վրա կիրեռսպառնալիքների բացասական ազդեցության և առկա անորոշության ու սահմանափակ ռեսուրսների պայմաններում, հարաբերականորեն մեծ թվով ակտիվների պաշտպանության հաշվառմամբ կիրեռսպառնալիքների կանխման և դրանց բացասական ազդեցության նվազեցման համար ցանկացած կազմակերպության համար հատկապես կարևոր են դառնում ներդրումային արդյունավետ ռազմավարության մշակումը, դրա պլանաչափ իրագործումն ու տվյալ ոլորտում օպտիմալ ներդրումների կատարումը [11, 12, 15]:

Կիրեռանվտանգության ապահովման համար կատարվող ներդրումները այլ ներդրումներից տարբերվում են նրանով, որ տվյալ ոլորտում կատարվող ներդրումներից ստացվող եկամուտները դրամական չեն և արտահայտվում են կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի և ակտիվների խոցելիության մակարդակի նվազեցմամբ [16, 17]: Բացի այդ, կիրեռանվտանգության ոլորտում կազմակերպության ներդրումային որոշումներն ունեն հետևյալ հատկանիշները. հնարավոր սպառնալիքներից բխող միջավայրն անորոշ է, կիրեռանվտանգության ոլորտում կատարված ներդրումներն ամբողջությամբ անվերադարձելի են, և կարևոր նշանակություն ունի ներդրում կատարելու որոշման կայացման պատեհաժամությունը:

Ներդրումների կատարման տեսանկյունից տեղեկատվական համակարգը բնութագրվում է երեք հիմնական պարամետրով. առաջին՝ համակարգի խաթարման դեպքում առաջացած դրամական կորուստները, երկրորդ՝ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքի հավանականությունը, երրորդ՝ համակարգին բնորոշ խոցելիության հավանականությունը:

Արդի ժամանակաշրջանին բնորոշ բարձր մակարդակի անորոշության և արագորեն փոփոխվող բիզնես պայմաններում ցանկացած կազմակերպության, ինչպես նաև պետության համար կարևորվում է ռեսուրսների ռազմավարական կառավարման խնդիրը:

Ռեսուրսների կառավարումը դրանց արդյունավետ ու արդյունարար զարգացումն է և ռազմավարական նախագծերի իրագործման համար կիրառումը: Ռեսուրսների կառավարման՝ որպես նախագծերի կառավարման հիմնական բաղադրիչներից մեկի գերնպատակը նախագծի հաջող իրագործման համար ֆինանսական ու մարդկային, պահուստային ու արտադրական ռեսուրսների, տեխնոլոգիաների ու ժամանակի ճիշտ օգտագործումն է:

Քանի որ ռեսուրսների ռազմավարական կառավարումը կատարվում է բարձր մակարդակի անորոշությամբ պայմանավորված տարբեր տեսակի ռիսկերի (տեխնոլոգիական, արտադրական, շուկայական, ֆինանսական, ներդրումային, քաղաքական, «հետազոտություն և մշակում»-ից բխող ռիսկեր և այլն) միջավայրում, ապա ռեսուրսների գնահատման և կառավարման վերաբերյալ համապատասխան որոշումներ ընդունելու համար նպատակահարմար է կիրառել նորամուծական մեթոդներ, որովհետև նման պայմաններում ավանդական մեթոդները արդյունավետ չեն:

Տեղեկատվական անվտանգություն և կիբեռանվտանգություն:

Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների ու ռոտին վերաբերող ժամանակակից գրականությունում «տեղեկատվական անվտանգություն» և «կիբեռանվտանգություն» եզրույթները հաճախ օգտագործվում են միևնույն իմաստով: Թեև տվյալ եզրույթներն ունեն մասնակի իմաստային և կիրառական ընդհանրություններ, սակայն ունեն և որոշակի տարբերություններ [18]: Տվյալ ատենախոսության շրջանակներում նշված եզրույթները դիտարկվում են որպես նմանակներ:

Ռիսկի և անորոշության գործոն: Ներդրումային նախագծերի կառավարումը կատարվում է ինչպես արտաքին, այնպես էլ ներքին միջավայրից բխող տարբեր տեսակի ռիսկերի և անորոշությունների պայմաններում: Այս պայմաններում արդյունավետության գնահատման օբյեկտիվության մակարդակը բարձրացնելու համար պետք է ճիշտ գնահատել նախագծի վրա ռիսկերի և անորոշությունների գործած ազդեցությունը: Տվյալ ատենախոսության շրջանակներում ներդրումների

մոդել ավորման համատեքստում մոդել այ ին անորոշությունը, խոր անորոշությունն ու բարձր մակարդակի անորոշությունը դիտարկվում են որպես նմանակներ [19]:

Բազմաչափանիշություն

գործոն:

Ռեսուրսների

սահմանափակության և մեծ անորոշությունների պայմաններում որոշումների ընդունման արդյունավետ մոդելների մշակումը բավական բարդ գործ է: Խնդիրն այն է, որ նախագծերի կառավարման ժամանակ այլ ընտրանքների վերաբերյալ որոշումը չի կարող ընդունվել միայն մեկ չափանիշի հիման վրա, քանի որ նախագծերի գնահատման և այլ ընտրանքներից լավագույնի ընտրության խնդիրը բազմաչափանիշային է: Արդյունավետ որոշումների ընդունման համար հատկապես կարևոր է որակական և քանակական վերլուծությունների գույադրումը, ինչն ավելի է բարդանում քանակական և որակական չափանիշների միջև եղած մեծ տարբերությունների պատճառով [19]:

Ռիսկերի կառավարում:

Ռազմավարական ներդրումային նախագծերում ռիսկի դիտարկումը շատ կարևոր է, քանի որ դրանից են կախված նախագծի հաջող ընթացքը և ավարտը: Ռիսկը արտաքին և ներքին գործոններով պայմանավորված մի անորոշ պայման է, որը կարող է նախագծի վերջնական արդյունքի վրա ունենալ դրական կամ բացասական ազդեցություն: Ռիսկն ունենում է մեկ կամ ավելի պատճառներ: Պատճառները կարող են լինել հայտնի, այսինքն՝ պատճառներ, որոնք պարզվել և վերլուծվել են նախորդ նախագծերի իրագործման ժամանակ, և անհայտ, այսինքն՝ պատճառներ, որոնք դեռ չեն պարզվել և չեն վերլուծվել: Վերջին տեսակի ռիսկերը հիմնականում հնարավոր չէ վերահսկել, սակայն կարելի է ուսումնասիրել դրանց առաջացման պատճառները և մշակել դրանց բացասական ազդեցությունները նվազեցնելու միջոցներ: Յուրաքանչյուր նախագծի համար անհրաժեշտ է մշակել ռիսկի կառավարման նկատմամբ համապատասխան մոտեցում՝ ըստ նախագծի պահանջների, արտաքին և ներքին գործոնների, կազմակերպության պահանջների և այլ գործոնների: Նախագծի ռիսկի կառավարումը շարունակական գործընթաց է: Այն կարող է փոփոխվել՝ կախված նախագծի իրագործման ընթացքում առաջացող արտաքին և ներքին

ազդեցություններից, նախագծի պահանջներից և փոփոխվող բիզնես պայմաններից [19]:

Բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշումների կայացումը՝ որպես բարդ գործընթաց, էլ ավելի է բարդանում կիբեռմիջավայրին բնորոշ ստոխաստիկության պայմաններում: Կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարված վերջին հետազոտություններում, մասնավորապես տվյալ ոլորտում ներդրումների կատարմանն ու կիբեռսպառնալիքների մոդելավորմանն առնչվող հետազոտական աշխատանքներում տեղեկատվական համակարգերի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքները դիտարկվում են որպես հավանականություն: Մինչդեռ կիբեռսպառնալիքներն իրենց բնույթով ստոխաստիկ են, և դրանց ճիշտ մոդելավորման, ինչպես նաև կիբեռսպառնալիքների դինամիկական բնույթի և կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծերում առկա տարբեր տեսակի ռիսկերի դիտարկման համար անհրաժեշտ է կիրառել դինամիկական և շեղումակայուն մոդելավորման եղանակներ:

Այժմ ներկայացնենք հիմնախնդրին նվիրված հետազոտական աշխատանքներում հանդիպող մի շարք եղանակների և մոտեցումների վերաբերյալ համառոտվերլուծություն:

[1]-ում ներկայացված է տեղեկատվական անվտանգության ապահովման համար կատարվող որոշ ներդրումային մոդելների վերլուծություն: Տվյալ աշխատությունում ներդրումային որոշումների կայացումը վերլուծվում է ամբողջական ներդրման, ֆինանսական և ոչ ֆինանսական չափումների (financial and non-financial measures), ինչպես նաև միանգամյա և ընթացիկ ծախսերի ու եկամուտների (one-time and running costs and benefits) համառոտում:

[2, 1]-ում ներկայացված է տեղեկատվական անվտանգության ապահովման համար կատարվող ներդրումների գնահատման բավականին պարզ մեթոդ, ըստ որի ներդրումից ստացվող առավելագույն արդյունքն ստացվում է այն դեպքում, երբ անվտանգության վրա արվող ընդհանուր ծախսերը՝ ներառյալ կիբեռանվտանգային խախտումների հետևանքով առաջացած

կորուստներն ու դրանց հակազդեցության ծախսերը, նվազագույնն են: Ըստ տվյալ մեթոդի ներդրումից ստացվող արդյունքը հաշվվում է՝ հիմնվելով բացառապես ֆինանսական չափումների վրա: Տվյալ մեթոդը հնարավորություն է տալիս ներդրումները դիտարկել ամբողջական, ինչպես նաև կիրառել ֆինանսական չափումներ՝ հաշվի չառնելով ոչ ֆինանսական չափումները: Այն հնարավորություն է տալիս դիտարկել միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները՝ հաշվի չառնելով ընթացիկ ծախսերը:

[3, 1]–ում ներկայացվում է աստիճանակարգերի վերլուծության մեթոդի հիման վրա մշակված մոտեցում: Բազմաչափանիշային որոշումների վերլուծության համար տվյալ մեթոդը, բացի ֆինանսական չափումներից, օգտագործում է նաև ոչ ֆինանսական չափումներ: Տվյալ մեթոդը հիմնականում օգտագործվում է համեմատական վերլուծության համար, որտեղ ներդրումների այլ ընտրանքները համեմատվում են միմյանց հետ՝ նախամշակված չափանիշների և ենթաչափանիշների հիման վրա: Տվյալ մեթոդը նույնպես ներդրումները դիտարկում է ամբողջական՝ միանգամյա և ընթացիկ ծախսերի և եկամուտների հաշվառմամբ:

[4, 1]–ում ներկայացվում է տեղեկատվական անվտանգության ապահովման համար փուլային եղանակով կատարվող ներդրումային որոշումներում քանակական ծախս-եկամուտ վերլուծություն: Տվյալ մեթոդի կիրառմամբ ներդրումները նույնպես դիտարկվում են ամբողջական՝ ֆինանսական և ոչ ֆինանսական չափումների հաշվառմամբ: Այն հնարավորություն է տալիս հաշվի առնել միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները՝ բացառությամբ ընթացիկ ծախսերի ու եկամուտների:

[5, 1]–ում դիտարկվում է տեղեկատվական անվտանգության ապահովման համար կատարվող ներդրումային որոշումների կայացման մոտեցում, որը հիմնված է ներդրումից ստացվող արդյունքի և տարեկան սպասվող կորստի հաշվառման վրա: Տվյալ մեթոդում նույնպես ներդրումները դիտարկվում են ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների, մեկանգամյա ծախսերի և

եկամուտների հաշվառմամբ, մինչդեռ ոչ ֆինանսական չափումները, ինչպես նաև ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները հաշվի չեն առնվում:

[6, 1]-ում ներկայացվում է ներդրվող օպտիմալ գումարը որոշելու համար մոդել: Տվյալ մեթոդում որոշում կայացնողը ռիսկի նկատմամբ չեզոք դիրքորոշում ունի, իսկ ներդրումային որոշումներն ու դրա արդյունքները ստացվում են անմիջապես: Այս մեթոդի հիմքում ընկած են ֆինանսական չափումները, այսինքն՝ միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները և հնարավոր սպառնալիքների ու համակարգի խոցելիության հավանականությունները՝ հաշվի չառնելով ոչ ֆինանսական չափումները, գումարի ժամանակային արժեքը, ինչպես նաև ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները: Այսինքն՝ տվյալ մեթոդում նույնպես ներդրումները կատարվում են ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների և միանգամյա ծախսերի և եկամուտների հաշվառմամբ, մինչդեռ ոչ ֆինանսական չափումները, ինչպես նաև ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները հաշվի չեն առնվում:

[14, 1]-ում ներկայացված է մեթոդ՝ իրական օպցիոնների վրա հիմնված «սպասենք-տեսնենք» մոտեցմամբ: Մեթոդի հիմնական գաղափարն այն է, որ անորոշության պայմաններում եկամուտների վերաբերյալ ներդրում կատարելու համար նպատակահարմար է սպասելը, քանի որ դա հնարավորություն է տալ իսպելելի բարձր եկամուտի ակնկալիքով ներդրում կատարել: Այսինքն՝ նախքան ներդրում կատարելը խորհուրդ է տրվում սպասել մինչև որևէ խախտում կարձանագրվի, քանի որ դա հնարավորություն է տալ իսպելելի շատ տեղեկություններն ապաստնող եկամուտները գնահատելու համար, որը ներդրումների գնահատումը դարձնում է ավելի ճշգրիտ: Տվյալ մեթոդի համաձայն՝ ներդրումը պետք է կատարել այն դեպքում, երբ տվյալ պահին կատարվող ներդրման գուտ ընթացիկ արժեքը ավելի մեծ է, քան հետաձգվող ներդրման գուտ ընթացիկ արժեքը: Տվյալ մեթոդում ներդրումները նույնպես դիտարկվում են ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների և միանգամյա ծախսերի և եկամուտների հաշվառմամբ,

որում սակայն չեն դիտարկվում ոչ ֆինանսական չափումներն ու ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները:

[16, 1]-ում ներկայացված է օգտակարության վերլուծության վրա հիմնված մեթոդ: Տվյալ մեթոդում ներդրվող գումարի չափը կախված է տեղեկատվական համակարգի խոցելիությունից և դրա հետ կապված կորուստներից: Այստեղ նույնպես ներդրումները դիտարկվում են ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների և միանգամյա ծախսերի ու եկամուտների հաշվառմամբ, որում սակայն ոչ ֆինանսական չափումները, ինչպես նաև ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները հաշվի չեն առնվում:

[7, 1]-ում ներկայացված ներդրումային որոշումների կայացման մեթոդը, որը հիմնված է բացառապես ֆինանսական չափումների և միանգամյա ծախսերի վրա: Տվյալ մեթոդի համաձայն ներդրումը կատարվում է այն դեպքում, երբ ծախսերն ավելի փոքր են, քան տարեկան սպասվող կորուստները: Տվյալ մեթոդը ներդրումները դիտարկում է ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների հաշվառմամբ, որում սակայն հաշվի չեն առնվում ոչ ֆինանսական չափումները: Մեթոդում հաշվի են առնվում միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները, սակայն ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները հաշվի չեն առնվում:

[8, 1]-ում առաջարկվում է մեթոդ, որը ներդրումային ծախսերը դիտարկում է ընդհանուր՝ չտարանջատելով տարբեր տեսակի ծախսերը առանձին: Այս մեթոդը նույնպես ներդրումները դիտարկում է ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների հաշվառմամբ, որում հաշվի չեն առնվում ոչ ֆինանսական չափումները: Մեթոդում հաշվի են առնվում նաև միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները, սակայն ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները հաշվի չեն առնվում:

[9, 1]-ում ներկայացված է ներդրումային որոշումների կայացման մեթոդ, որը ի տարբերություն վերը դիտարկված միջառք մեթոդների, հիմնվում է կատարողականի արդյունավետության գնահատման վրա (balanced scorecard): Ըստ տվյալ մեթոդի ներդրումներն ամբողջական են կատարվում: Քանի որ տվյալ մեթոդը հիմնված է կատարողականի արդյունավետության

գնահատման վրա, այն հնարավորություն է տալիս դիտարկել ինչպես ֆինանսական, այնպես էլ ոչ ֆինանսական չափումները, ինչպես նաև միանգամյա և ընթացկ ծախսերն ու եկամուտները:

[10, 1]-ում ներկայացված է մեթոդ, որը հիմնված է ֆինանսական ակտիվների առնչվող ռիսկերի գնահատման մոտեցման վրա: Այն հնարավորություն է տալիս գնահատել նաև օրական ծախսերի առնչվող ռիսկերը: Տվյալ մեթոդում ներդրումները դիտարկում են ամբողջական՝ ֆինանսական չափումների հաշվառմամբ, որում սակայն չեն դիտարկվում ոչ ֆինանսական չափումները: Այն հնարավորություն է տալիս դիտարկել միանգամյա ծախսերն ու եկամուտները, սակայն ընթացիկ ծախսերն ու եկամուտները չեն դիտարկվում:

[20, 21, 13]-ում ներկայացված են տեղեկատվական անվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման վերաբերյալ հետազոտություններ՝ Գորդոն-Լոեբի մոդելի ընդլայնմամբ:

[22, 23]-ում ներկայացված են անորոշության պայմաններում ներդրումների կատարման ժամանակի կառավարմանը վերաբերող վերլուծություններ:

[24]-ում դիտարկվում է տեղեկատվական անվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումից ստացվող եկամուտին վերաբերող վերլուծություն:

Կիբեռմիջավայրում առկա մեծ անորոշության պայմաններում ռիսկերի և անորոշության միջև առկա բարդ փոխկապվածության հաշվառմամբ կարևոր է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծերի վրա դրանց ազդեցության գնահատումը:

[25, 26]-ում ներկայացված է ներդրում-անորոշություն և հարաբերության վերլուծությունը խաղերի տեսության և իրական օպիոնների համատեքստում:

[27, 28]-ում ներկայացված է ներդրման և անորոշության միջև եղած փոխկապվածությունն արտահայտող բազային մոդել: Ներկայացված է նաև անորոշության ազդեցությունը ներդրում կատարելու վարքագծի վրա:

[29, 30]-ում ներկայացված է ռիսկերի և բարձր մակարդակի անորոշության ազդեցությունը ներդրումային նախագծերի վրա:

Վերջին տասնամյակներում մեծ թափ է առել շեղումակայուն կառավարման մոդելների օգտագործումը տնտեսության տարբեր ոլորտներում կիրառական խնդիրների լուծման համար: Տվյալ մոդելների դիտարկումը անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշումների կայացման համար նույնպես կիրառական մեծ նշանակություն ունի [31, 32, 33]: Տվյալ դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային որոշումների կայացման համար շեղումակայուն կառավարման համատեքստում դիտարկվում է մոդելային անորոշությունը, որն արտահայտվում է հավանականային բաշխման վերաբերյալ որոշում կայացնողի սուբյեկտիվ անորոշությամբ: Այս պայմաններում որոշում կայացնողի համար առանցքային խնդիր է այլընտրանքային մոդելների հատուկ դասի որոշարկումը: Նշվածի իրագործման համար թերևս ամենակիրառական մոտեցումը անվանական մոդելի մշակումն ու դրա հիմքի վրա փոփոխությունների և շեղումների դիտարկումն է, որի դեպքում հիմնական խնդիրը վերջիններիս ուժգնության չափումն ու դրա հիման վրա լավագույն մոդելի ընտրությունն է:

Այս համատեքստում բայեսյան վերլուծության դեպքում որոշում կայացնողը առկա մոդելներից ընտրում է առաջնայինը՝ առավել արկելով (մաքսիմիզացնելով) դրա օգտակարությունը կամ նվազարկելով (մինիմիզացնելով) սպասվող կորուստները: Ի տարբերություն բայեսյան վերլուծության՝ շեղումակայուն կառավարման դեպքում հիմնականում նվազեցվում են հնարավոր մոդելների բազմությունից վատագույն դեպքի դիտարկմամբ ստացվող կորուստները:

Շեղումակայուն կառավարման մոտեցումը ենթադրում է, որ որոշում կայացնողը չի կարող կամ ցանկություն չունի մոդելների բազմությունից որոշարկել առաջնայինը, սակայն նա պետք կարողանա որոշարկել հնարավոր մոդելների բազմությունը:

Այլ մոտեցումներում դիտարկվում է միջին և վատագույն դեպքերի միջինը, որի դեպքում օգտակարության առավել արկումը ենթակա է սահմանափակվելու՝ որպես վատագույն դեպքի արդյունքում ստացված կորուստ [34]: Տվյալ ատենախոսության շրջանակներում շեղումակայուն կառավարումը կդիտարկվի միևնույնիայն մոտեցման համատեքստում:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ ներդրումների և ներդրումային որոշումների կայացման մոդելավորման համար դիտարկենք ստոխաստիկ շեղումակայուն կառավարման սկզբունքները. ընդամիս, վերլուծենք շեղումակայուն դրամական քաղաքականության միասնական մոդելի գնահատմանն ու նախագծմանն առնչվող խնդիրները: Վերջին շրջանում դրամական քաղաքականությանն առնչվող հետազոտություններում հաճախ են հանդիպում դրամական քաղաքականության օրենքների շեղումակայուն նախագծմանը նվիրված աշխատանքներ [31, 35, 36]: Դա բխում է այն հանգամանքից, որ գործնականում կենտրոնական բանկերը պետք է հիմնվեն դրամական փոխանցումների մեխանիզմների գնահատված մոդելների վրա և հստակ պատկերացում ունենան տնտեսության գործունեության վերաբերյալ:

Ընդունված է այն տեսակետը, որ ի տարբերություն անորոշության լրիվ բացակայության՝ անորոշության պայմաններում քաղաքականության մշակողները պետք է ավելի զգույշ լինեն քաղաքականության ներդրման գործում: Նշվածի առավելությունն այն է, որ դրահիմքում ընկած են պարզության և ինտուիցիայի գաղափարները: Դա ի պատիվ Վիլյամ Բրեյնըրդի անվանվել է «Բրեյնըրդի պահպանողական սկզբունք»:

[37]-ում դիտարկվում են քաղաքականության օրենքների շեղումակայունության գնահատման որոշ մեթոդներ, ըստ որոնց մի մոդելում շեղումակայուն օրենքը կարող է շեղումակայուն չլինել մյուսում: Շեղումակայուն կառավարման հաճախ կիրառվող մեթոդների հիմքում ընկած է վատագույն դեպքի դիտարկումը:

Շեղումակայուն կառավարման դեպքում համակարգը փոփոխությունների նկատմամբ մնում է կայուն, և քանի որ անկայունությունը կարող է հավասարեցվել անվերջ կորուստների հետ, ապա վատագույն դեպքի արդյունքները հնարավորինս նվազարկելը կհանգեցնի կայունության: Ատենախոսության շրջանակներում շեղումակայուն կառավարումը վերաբերում է նայթյան անորոշությանը, մոդելային անորոշությանը և անորոշությունը վանող հասկացությանը, որոնք չնայած ձևակերպման տարբերությունների՝ տվյալ հետազոտության շրջանակներում գրեթե համարժեք են:

[38]-ում մոդելային անորոշության առանձնահատկությունները դիտարկվում են բազմակի հավանականությունների միջոցով: Որոշումների կայացումը բազմակի հավանականությունների միջոցով կարելի է ներկայացնել հավանականությունների բազմությունից ամենաընդունելի հավանականության օգտակարության առավել արկմամբ (մաքսիմին սպասվող օգտակարություն):

[39]-ում ներկայացված է վերը նշվածի ընդլայնումը դինամիկ համատեքստում, որտեղ հավանականությունների բազմությունը ժամանակի ընթացքում թարմացվում է:

[31, 32]-ում ներկայացված է մոդել, որը կապ է ապահովում շեղումակայուն կառավարման և անորոշության նկատմամբ վանող դիրքորոշման միջև: Այն ցույց է տալիս, որ շեղումակայուն կառավարման մոդելների բազմությունը կարելի է դիտարկել որպես [38]-ում ներկայացված հավանականությունների բազմություն: Ավելին, ամենաքիչ ընդունելի հավանականությունն ընտրելու դեպքում որոշում կայացնողի վարքագիծը անորոշության նկատմամբ կարող է ռացիոնալացվել որպես տվյալ հավանականությամբ բայեսյան մոտեցում: Ուստի՝ այս տեսանկյունից [40]-ում շեղումակայուն կառավարումը ներկայացվում է որպես հավանականությունների գեներացման միջոց, որն առաջ է բերում այն հարցը, թե արդյոք վատագույն

դեպքի հավանականությունը ճշգրիտ կերպով է արտահայտում իրական նախապատվությունները:

Շատ դեպքերում որոշում կայացնողի շեղումակայուն կամ անորոշության նկատմամբ վանող դիրքորոշման նախապատվությունները նման են ռիսկի նկատմամբ վանող դիրքորոշմանը, իսկ որոշ դեպքերում դրանք նույնիսկ համարժեք են [41, 42]:

[43, 44]-ում ներկայացված է ռեկուրսիվ օգտակարությունը ռիսկի նկատմամբ ուժեղացված վանող դիրքորոշման պայմաններում:

[31]-ում ներկայացված է տվյալ խնդրին վերաբերող մասնագիտական գրականությունում շեղումակայուն կառավարման ամենահայտնի և հաճախ կիրառվող մոտեցումը: Դրա հիմքում ընկած է անվանական մոդելը, իսկ մոդելային անորոշության բազմության հստակեցման համար որպես հեռավորության չափ կիրառվում է էնտրոպիան: Մասնավորապես, մոդելների բազմությունը բաղկացած է այն մոդելներից, որոնց հարաբերական էնտրոպիան կամ այսպես կոչված Կուլբեք-Լեյվերի անվանական մոդելից հեռավորությունը սահմանափակված է որոշված արժեքով:

Բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում որոշումների կայացման և մոդելային անորոշության նկատմամբ որոշում կայացնողի վերաբերմունքն արտահայտող վերլուծություններ և գիտական արդյունքներ են պարունակում [45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54] աշխատանքները:

Ներդրումների և ներդրումային որոշումների կայացման արդյունավետության գնահատման վերաբերյալ կարևոր արդյունքներ են պարունակում [55, 56, 57]-ում ներկայացված աշխատանքները: Մասնավորապես [57]-ում ներկայացված է տեղեկատվական անվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումների արդյունավետության գնահատմանը վերաբերող մոտեցում, որը հիմնված է ոչ հստակ բազմությունների վրա (fuzzy sets): [58]-ում ներկայացված են անորոշության պայմաններում որոշումների կայացման մեթոդներ և ալգորիթմներ, որոնք

հիմնված են ոչ հստակ բազմությունների տեսության և գենետիկական և գործիքների կիրառության վրա:

Կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշության և կիբեռսպառնալիքների պատահական բնույթի հաշվառմամբ ներդրումների արդյունավետության ավտոմատացված գնահատման և տվյալ ոլորտի առանձնահատկությունների հաշվառմամբ ներդրումային որոշումների կայացման ավտոմատացված համակարգեր գրեթե չկան: Հետազոտության ընթացքում հանդիպել են տարբեր հետազոտողների կողմից առաջարկվող մոդելներ և կոնկրետ օրինակների թվային լուծումներ, սակայն չկան տվյալ ոլորտում ներդրումների ավտոմատացված գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման համալիր լուծումներ: Ըստ այդմ կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումների առանձնահատկությունների հաշվառմամբ էական նշանակություն ունի տվյալ ոլորտում ներդրումների գնահատման և համապատասխան որոշումների կայացման խնդիրների լուծման ավտոմատացված մոտեցման կիրառումը:

Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման, ռիսկերի կառավարման և որոշումների կայացման համար կարելի է օգտագործել “Expert Choice” կիրառական ծրագրերի փաթեթը, որը հիմնված է աստիճանակարգերի վերլուծության մեթոդի վրա (AHP – Analytic Hierarchy Process) [59]:

1.2. Ներդրումների միախուլ մոդելը

Կազմակերպության կողմից կիբեռանվտանգության ապահովման նպատակով ներդրումների կատարման օպտիմալության մակարդակը գնահատելու համար դիտարկենք ներդրումների միախուլ մոդելը [6]:

Այս համատեքստում ներդրումների տեսանկյունից տեղեկատվական համակարգը բնութագրվում է երեք հիմնական պարամետրով. համակարգի խաթարման դեպքում չդրամական կորուստները, համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքի քի հավանականությունը և համակարգին բնորոշ խոցելիության չ

հավանականությունը: Նշվածի հաշվառմամբ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքի հաջող իրականացման դեպքում սպասվող L կորուստները կհաշվենք ($L = \xi\lambda$) բանաձևով, 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:

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

$$EB(z) = (v - S(z, v))L, \quad (1.2.1)$$

իսկ սպասվող գուտեկամուտը՝

$$ENB(z) = (v - S(z, v))L - z, \quad (1.2.2)$$

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

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

$$\frac{\partial(v - S(z, v)L - z)}{\partial z} = 0, \quad (1.2.3)$$

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

$$\frac{-\partial S(z^*, v)L}{\partial z} = 0: \quad (1.2.4)$$

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 խոցելիությանն առնչվող հետևյալ պայմանները [6].

- 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 խոցելիությանը:
- 3) $\forall v \in (0; 1), \forall z, \frac{\partial S(z, v)}{\partial z} < 0 \square \frac{\partial^2 S(z, v)}{\partial z^2} < 0$, 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 ֆունկցիան [6]՝

$$S^I = \frac{v}{(xz + 1)^v} \quad (x > 0, y \in R), \quad (1.2.5)$$

$$S^{II} = v^{xz+1} \quad (x > 0), \quad (1.2.6)$$

որտեղ x -ը և y -ը ներդրման արդյունավետության գործակիցներն են:

Հարկ է անդրադառնալ նաև [6]-ում ներկայացված հատկություններին: Նշվածի համաձայն կիրառելով (1.2.4) բանաձևը՝ կարելի որոշել $z^*(v)$ ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը: Այս պարագայում միանգամայն բնական է համեմատել ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը vL սպասվող ընդհանուր կորստի հետ, չնայած ապացուցված է, որ վերը նշված երեք պայմանները բավարարող $S(z, v)$ ֆունկցիաների համար գործում է $z^*(v) < vL$ պայմանը, ավելին՝ $z^*(v) < \frac{1}{\theta} vL$, որտեղ $\frac{1}{\theta}$ -ը

հաստատուն թիվ է, իսկ անվտանգության ապահովման համար ներդրվող z գումարը կարող է մեծ լինել կամ չլինել և կորուստներից: Մյուս հատկությունն այն է, որ համակարգի խոցելիությունը, մնացյալ խոցելիությունը և չկորուստները անկախ են պաշտպանության ենթակա տեղեկատվական համակարգի արժեքից:

Իրենց աշխատանքում Գորդոնս ու Լոեբը 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 առավել արկվի: Վերը դիտարկված խոցելիության մակարդակի նվազեցման ֆունկցիաների համար ներդրման օպտիմալ գումարի չափը մեծ մասամբ չի գերազանցում սպասվող կորուստների 37%-ը ($\frac{1}{8} \approx 36,8\%$), իսկ շատ դեպքերում այն ավելի փոքր է [6]:

Կիրենանվտանգության ապահովման նպատակով ներդրումային որոշումների կայացման տվյալ մոտեցման՝ որպես ներդրումային քաղաքականության մշակման և կառավարման գործիքի հարմարավետության գնահատման համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել այն հանգամանքը, որ տվյալ մոտեցումը դիտարկում է ներդրումների կատարման միափուլ մոդել [6], ինչը նշանակում է, որ ներդրման վերաբերյալ բոլոր որոշումները կայացվում են միանգամից (ամբողջական): Հետևաբար, ներդրման գործընթացը չի կարելի բաժանել ավելի փոքր փուլերի, և ներդրումը կատարվում է ամբողջական՝ հանգեցնելով պահային արդյունքների:

Այսպիսով, տվյալ մոդելը ստատիկ է և ամբողջությամբ չի արտահայտում կիրենանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումների դինամիկ էությունը [60]: Այն նպատակահարմար է կիրառել, երբ ներդրումն իրականացվում է միանգամից և ամբողջական ձևով:

1.3. Ներդրումների իրագործումը իրական օպցիոնների միջոցով

Օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացման տեսանկյունից էականորեն կարևոր է ներդրվող գումարի չափը և ներդրման ճիշտ ժամանակը որոշելը: Այս համատեքստում [14]-ում ներկայացված է իրական օպցիոնների դիսկրետ ծառի մոդել, որը սակայն չի կարելի համարել խնդրի օպտիմալ լուծում: [61]-ում նույնպես ներկայացված է տվյալ խնդրին առնչվող իրական օպցիոնների դիսկրետ ծառի մոդել, որը կառավարման տեսանկյունից պարունակում է նաև ելքային արդյունքների փորձաքննման (postaudit) բայեսյան լրացուցիչ հատկությունը:

Նշվածի հաշվառմամբ դիտարկենք կիբեռանվտանգության ապահովման նպատակով ներդրում կատարելու ժամանակի օպտիմալ կառավարման հետևյալ մոտեցումը: Այն Գորդոն-Լոբբի ներդրումային մոդելի ընդլայնմամբ իրական օպցիոնների վրա հիմնված մոդել է, որը նպատակահարմար է կիրառել օպտիմալ սկզբնական ժամանակով դինամիկ որոշում կայացնելու ժամանակ [13, 62]: Ենթադրենք, որ համակարգը խաթարող ξ_t սպառնալիքը հետևում է μ շեղումով բրոունյան շարժման.

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw, \quad (1.3.1)$$

որտեղ t ինդեքսը հաշվարկի ժամանակն է, dw -ն վիներյան պրոցեսի աճը, իսկ վերը դիտարկված μ շեղման և σ փոփոխելիության գործակիցները հաստատուններ են: Այս տեսանկյունից հարկ է նշել, որ Գորդոն-Լոբբի ներդրումային մոդելում ξ_t -ն դիտարկվում է որպես հավանականություն, որը սահմանափակվում է $[0, 1]$ միջակայքով: Նշենք նաև, որ $\hat{z}$ ժամանակից հետո կատարվող ներդրումից սպասվող եկամուտը ներդրումային ամբողջ նախագծի համար կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\int_t^\infty e^{-rt} \{ (v - S(z, v)) \lambda \xi_t - z \} dt, \quad (1.3.2)$$

որտեղ r -ը ոչ ռիսկային տոկոսադրույքն է $(r - \mu) > 0$ պայմանով:

Ենթադրվում է նաև, որ v -ն և λ -ն ժամանակից անկախ են և կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումը կատարվում

Է միայն մեկ անգամ չժամանակում: Այս տեղից պարզ է դառնում, որ $S(z, v)$ ֆունկցիան նույնպես անկախ է ժամանակից: Ուստի $V(\xi)$ առավել արկված արժեքը կստացվի (1.3.3) հավասարման միջոցով.

$$V(\xi) = \sup_{\xi} E \left[e^{-rt} \left(\frac{(v - S(z, v)) \lambda \xi_t}{r - \mu} - \frac{z}{r} \right) \right], \quad (1.3.3)$$

որը պետք է բավարարի անալիտիկ լուծում ունեցող հետևյալ սովորական դիֆերենցիալ հավասարմանը [63].

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \xi^2 \frac{d^2 V(\xi)}{d\xi^2} + \mu \xi \frac{dV(\xi)}{d\xi} - rV(\xi) + (v - S(z, v)) \lambda \xi - z = 0 \quad (1.3.4)$$

Նշվածի համաձայն՝ երկրորդ կարգի սովորական դիֆերենցիալ հավասարման լուծումը կունենահետևյալ տեսքը.

$$V(\xi) = \begin{cases} A_1 \xi^{\beta_1} + A_2 \xi^{\beta_2}, & \xi \leq \xi^* \\ \frac{(v - S(z, v)) \lambda \xi}{r - \mu} - \frac{z}{r}, & \xi \geq \xi^* \end{cases}, \quad (1.3.5)$$

որտեղ $(\beta_1 > 1)$ -ը և $(\beta_2 < 0)$ -ը ստորև ներկայացված բնութագրիչ հավասարման արմատներն են.

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \beta^2 + \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \beta - r = 0 \quad (1.3.6)$$

Ի հավելումն ասվածի՝ հարկ է նշել, որ $V(\xi)$ առավել արկված արժեքը պետք է բավարարի նաև որոշում կայացնելու օպտիմալ ժամանակի որոշման հետևյալ սահմանային պայմանները.

$$\lim_{\xi \rightarrow 0} V(\xi) = 0, \quad (1.3.7)$$

$$A_1 (\xi^*)^{\beta_1} = \frac{(v - S(z, v)) \lambda \xi^*}{r - \mu} - \frac{z}{r}, \quad (1.3.8)$$

$$\beta_1 A_1 (\xi^*)^{\beta_1 - 1} = \frac{(v - S(z, v)) \lambda}{r - \mu}: \quad (1.3.9)$$

Նկատենք նաև, որ նշված պայմանները սահմանում են A_1 , A_2 և ξ^* պարամետրերը: Հետևաբար (1.3.5) արժեքի ֆունկցիան կունենահետևյալ տեսքը [13, 62].

(1.3.10)

$$V(\xi) = \begin{cases} \left[\frac{(v - S(z, v))\lambda \xi^*}{r - \mu} - \frac{z}{r} \right] \left[\frac{\xi}{\xi^*} \right]^{\beta_1}, & \xi \leq \xi^* \\ \frac{(v - S(z, v))\lambda \xi}{r - \mu} - \frac{z}{r}, & \xi \geq \xi^* \end{cases} :$$

(1.3.11)

)

(1.3.10) հավասարումից պարզ երևում է, որ $dV(\xi)$ -ն աճում է ξ -ի աճին զուգընթաց, որտեղ ξ -ն ավելի փոքր է ξ^* -ից և մնում է հաստատուն, երբ ξ -ն դառնում է ավելի մեծ ξ^* -ից, քանի որ $\partial V(\xi)/\partial \xi = (v - S(z, v))\lambda / (r - \mu)$: Ուստի $V(\xi)$ -ի առավել արկված արժեքը կստացվի ξ^* կետում, իսկ ներդրման z^* օպտիմալ մակարդակը կստացվի ξ^* կետում ներդրում կատարելուց սպասվող եկամուտի առավել արկումից՝

$$z(\xi^*) = \operatorname{argmax}_{z \in R} V(\xi^*; z) :$$

)

Այստեղից երևում է, որ ներդրում կատարելու օպտիմալ մակարդակը կախված է ξ^* -ից: Քանի որ ξ^* -ն նաև կախված է z -ից, ուստի կատարված ներդրման օպտիմալ մակարդակը պետք է բավարարի

$$z^* = z \left(\frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \frac{r - \mu}{(v - S(z^*, v))\lambda} \frac{z^*}{r} \right) :$$

(1.3.13)

Քանի որ (1.3.12) հավասարումը (1.3.11) հավասարման առավել արկումն է, ապա ներդրման z^* օպտիմալ մակարդակի համար կստացվի առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարմամբ արտահայտված հետևյալ պայմանը.

$$-\frac{\partial S(z^*, v)\lambda \xi^*}{\partial z} = \frac{(r - \mu)}{r} :$$

(1.3.14)

)

Այսպիսով, իրական օպցիոնների տեսության վրա հիմնված տվյալ մոդելի համաձայն կազմակերպությանը ձեռնտու է ներդրում կատարել, երբ ξ_z -ն դառնում է ավելի մեծ, քան ξ^* -ը [63, 64, 65]: Հետևաբար ավելի մեծ ξ^* -ի դեպքում ներդրում կատարելու ժամանակը կհետաձգվի, որովհետև կազմակերպությունը ներդրում կատարելու համար պետք է սպասի այնքան ժամանակ, մինչև որ ξ_z -ն հավասարվի ξ^* -ի ավելի մեծ արժեքին: Մյուս կողմից՝ ավելի փոքր ξ^* -ի դեպքում ներդրումը կկատարվի ավելի շուտ: Ուստի ξ^* -ն

կանվանենք ներդրում կատարելու համար սահմանային (կրիտիկական) կետ:

1.4. Հիմնախնդրի տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը

Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների բուռն զարգացմամբ և համատարած թվայնացմամբ պայմանավորված վերջին տարիներին էապես աճել է կիբեռանվտանգության նկատմամբ հետաքրքրությունը: Համակարգային տեսանկյունից կիբեռանվտանգությունը բարդ և բազմամակարդակ տիրույթ է, որը ներառում է ինչպես տեխնոլոգիական, այնպես էլ իրավական, քաղաքական, տնտեսական և հաստատությանական բաղադրիչները: Կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա բարձր մակարդակի անորոշության և սահմանափակ ռեսուրսների պայմաններում ներդրումների լավարկման ու արդյունավետ ներդրումային որոշումների կայացման համար հատկապես կարևորվում է տվյալ ոլորտում գիտակիրառական հետազոտությունների, ինչպես նաև խորը և համակարգային վերլուծությունների կատարումը:

Որպես ատենախոսության մեթոդաբանական հիմք օգտագործվել են համակարգային մոտեցման սկզբունքները, որոնք հնարավորություն են տալիս անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության համակարգի ու կիբեռսպառնալիքների բարդ և պատահական բնույթի, դրանցում առկա մեծ անորոշության գործոնի հաշվառմամբ ուսումնասիրել տվյալ ոլորտում իրական ներդրումների կատարման և համապատասխան որոշումների կայացման առանձնահատկությունները և մշակել անորոշության պայմաններում տվյալ ոլորտում կատարվող ներդրումների օպտիմալ մոդելներ: Ատենախոսության շրջանականերում կիրառվել են ընդհանուր հետազոտական մեթոդներ, ներառյալ համակարգային վերլուծության, մաթեմատիկական մոդելավորման և ավտոմատացման մեթոդները [66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75]: Հետազոտության ժամանակ օգտագործվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում տեսական դատողություններ, գիտավարկածներ, մեթոդներ և գաղափարներ:

Հետազոտվող խնդրի մշակվածության աստիճանի հաշվառմամբ հիմնախնդրի տեսակն և մեթոդաբանական հիմքերի վերլուծությունը, ինչպես նաև հետազոտության օբյեկտի և առարկայի ընտրությունը թույլ են տալիս կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների կատարման և համապատասխան որոշումների կայացման նպատակով գիտականորեն հիմնավորված արդյունքներ ստանալու համար ընտրել մի շարք հետազոտական մեթոդներ: Մասնավորապես, անտեսախոսությունում օգտագործվում են պատահական պրոցեսների տեսության, ֆունկցիոնալ անալիզի, իրական օպցիոնների տեսության, շեղումակայուն կառավարման, շեղումակայուն ստոխաստիկ դինամիկական ծրագրավորման մեթոդները, ինչպես նաև բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում իրական ներդրումների ժամանակակից տեսությունները [76, 77, 78, 79, 80, 81]:

Անտեսախոսության նպատակը կիբեռանվտանգության ոլորտում կազմակերպությունների ներդրումների արդյունավետության ավտոմատացված գնահատման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերի մշակումն ու տվյալ ոլորտում ներդրողների վարքագծի մոդելավորումն է բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում: Հետազոտական աշխատանքի նպատակը կանխորոշել է հետևյալ փոխկապակցված խնդիրների առաջադրումը և հետևողական լուծումը.

- 1) բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրողների վարքագծի գնահատման համակարգի մոդելավորման ու ավտոմատացման համար պատահական պրոցեսների տեսության մեթոդների և իրական ներդրումների ոլորտում կատարված ժամանակակից հետազոտությունների արդյունքների կիրառման հնարավորության բացահայտումը,
- 2) ներդրումային որոշումների կայացման գործընթացում ստոխաստիկ համակարգերի ավտոմատացված մոդելավորման մեթոդների և մոդելների ուսումնասիրությունը,

- 3) տարբեր տեսակի պատահական պրոցեսների միջոցով կիբեռսպառնալիքների մոդելավորման տեսական և մեթոդաբանական հիմքերի մշակումը,
- 4) կիբեռսպառնալիքներում առկա բարձր մակարդակի անորոշության պայմանավորված ներդրումների և անորոշության միջև ընդհանուր հատկությունների և փոխկապվածության ուսումնասիրությունը,
- 5) ստոխաստիկ պրոցեսների կարևոր դասի, մասնավորապես շոկեբրոունյան շարժմամբ նկարագրվող բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը,
- 6) կիբեռանվտանգության ոլորտում որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող առանձին պարամետրերի ներմուծմամբ ներդրումների մոդելավորման ավտոմատացումը,
- 7) շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորման հիման վրա բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռռեսուրսների կառավարման ներդրումային որոշումների մոդելավորումը,
- 8) ավտոմատացված համակարգի ստեղծման հայեցակարգի և ճարտարապետության ձևավորումը,
- 9) ավտոմատացված համակարգի իրագործման համար կիրառական ծրագրերի փաթեթի մշակումը:

Եզրակացու թյուրոտեր 1-ին գլխի վերաբերյալ

- 1) Վերլուծվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման ժամանակակից մեթոդները: Ցույց է տրվել կիբեռսպառնալիքների ստատիկ մոդելները դինամիկական համատեքստում ընդհանրացնելու անհրաժեշտությունը, այսինքն՝ կիբեռսպառնալիքների դիտարկումը որպես պատահական պրոցեսներ: Արվել է եզրակացություն պատահական պրոցեսների տեսության ժամանակակից գործիքարանի կիրառման, պատահական դինամիկական ծրագրավորման և շեղումակայուն որոշումների կայացման նպատակահարմարության վերաբերյալ: Հետազոտության շրջանակներում որպես բազային մոդել է վերցվել Գորդոն-Լոեբի ստատիկ միափուլ մոդելը:
- 2) Արվել է եզրակացություն հետազոտության շրջանակներում դիտարկված խնդիրների լուծման ավտոմատացված մոտեցման կիրառման անհրաժեշտության վերաբերյալ: Ներկայացված են հետազոտության տեսական և մեթոդաբանական հիմքերն ու խնդրի դրվածքը:

**ԳԼՈՒԽ 2. ՆԵՐԴՐՈՒ ՄՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼ ԱՎՈՐՈՒ ՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ
ԴԱՃՏԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒ ՄԸ ՀԵՏԱԶՈՏՎՈՂ ՀԻՄՆԱԽՆԴՐԻ ՀԱՄԱՏԵՔՍՏՈՒՄ**

**2.1. Անորոշ ու թյ ան ազդեց ու թյ ու նը ներդր ու մ կատարել ու
վարքագծի վրա**

Կիբեռանվտանգ ու թյ ան ու ղորտ ու մ ներդր ու մ կատարել ու նպատակ ու վ օպտի մալ սկզբնաժամկետ ու վ համապատասխան դինամիկ ու ղորոշ ու մ կայացնել ու ու ս ու մնասիր ու թյ ան համար ընդլայնե նք (1.3)- ու մ դիտարկվաժ Գորդոն-Լոեբի մոդելը [11, 14]: Նախ ընդ ու նե նք, որ տեղեկատվական համակարգի անվտանգ ու թյ ան խաթարմանն ու ղղվաժ ξ_t սպառնալիքը դրսևորվ ու մ Է երկրաչափական բրոու նյ ան շարժման նման ու թյ ամբ [82, 83].

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t, \quad \xi(0) = x_0 > 0: \quad (2.1.1)$$

Այս համատեքստ ու մ, եթե կազմակերպ ու թյ ու նը անվտանգ ու թյ ան ապահովման նպատակ ու վ ներդնի z գ ու մար, ապա ներդրման արդյ ու նք ու մ խոցելի ու թյ ան նվազեցվաժ մակարդակը կլինի $S(z, v)$: Հետևաբար, ներդր ու մից սպասվող եկամ ու տը, այսինքն՝ ներդր ու մից հետո սպասվող կոր ու ս տների նվազեց ու մը կհաշվվի $(v - S(z, v))\lambda \xi_t$ բանաժև ո վ, որտեղ λ -ն անվտանգ ու թյ ան խաթարմամբ պայմանավորվաժ դրամական կոր ու ս տներն են, իսկ $(v - S(z, v))$ -ը՝ կազմակերպ ու թյ ան տեղեկատվական համակարգի խոցելի ու թյ ան մակարդակի նվազեց ու մը: Ընդ ու նե նք, որ v -ն և λ -ն ժամանակից անկախ են և ներդր ու մը կատարվ ու մ Է միայն մեկ անգամ T^+ պահին: Ուստի $S(z, v)$ -ն ն ու յ նախ ժամանակից անկախ Է, իսկ $\pi(t) = (v - S(z, v))\lambda \xi_t$ եկամ ու տը ստացվ ու մ Է պատահական կերպ ու վ՝ վերաժվել ո վ երկրաչափական բրոու նյ ան շարժման, այսինքն՝

$$d\pi_t = \mu \pi_t dt + \sigma \pi_t dw_t, \quad \pi(0) = \pi_0 \geq 0, \quad (2.1.2)$$

որտեղ $\mu \in R$ -ը շեղման գործակիցն Է, $(\sigma > 0)$ -ը՝ փոփոխելի ու թյ ան (volatility) պարամետրը, dw_t -ն վինեյրյան պրոցեսի աժը (փոփոխման

քայլ) գրոմիջինով ու մեկի հավասար փոփոխել ինությամբ, և ($r \geq 0$)-ը ոչ ռիսկային տոկոսադրույքն է:

Քանի որ կազմակերպությունը ներդրում կատարելու հարցում ունի սպասելու հնարավորություն, ուստի ներդրման այսպիսի հնարավորությունը իրական օպցիոն է, իսկ ավելի ստույգ՝ ամերիկյան անվերջ քոլ օպցիոն [63, 28]: Նշվածի համաձայն՝ ներդրման t պահին կազմակերպությունը կունենա.

$$W(t) = \frac{\pi_t}{r - \mu} - z: \quad (2.1.3)$$

Այս համատեքստում ներդրում կատարելու T^* օպտիմալ ժամանակը կարելի է ստանալ հետևյալ արտահայտությամբ [63, 28].

$$T^* = \inf\{t \geq t_0 \mid \pi_t \geq \pi^*\}: \quad (2.1.4)$$

Սա այն դեպքն է, երբ ներդրումից ստացվող եկամուտը հասնում է π^* օպտիմալ շեմին, որը սահմանվում է հետևյալ կերպ.

$$\pi^* = \frac{\beta}{\beta - 1} - (r - \mu)z, \quad (2.1.5)$$

որտեղ

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}: \quad (2.1.6)$$

Այժմ դիտարկենք կանոնիկ իրական օպցիոնի մոդելը, որի դեպքում նախքան ներդրում կատարելը ակնկալվող ժամանակը կլինի [84].

$$ET = \begin{cases} 0 & \pi^* \leq \pi_0 \\ \frac{\ln\left(\frac{\pi^*}{\pi_0}\right)}{\mu - \frac{1}{2}\sigma^2} & \pi^* > \pi_0 \wedge \mu - \frac{1}{2}\sigma^2 > 0 \\ \infty & \pi^* > \pi_0 \wedge \mu - \frac{1}{2}\sigma^2 \leq 0 \end{cases}, \quad (2.1.7)$$

Յետևաբար տրված $\tau > 0$ ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը կարելի է ստանալ հետևյալ բանաձևով.

$$\begin{aligned}
P(T^* \leq t_0 + \tau) = & \\
= \max_{\tau} & \left\{ 1, \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{\pi_0}{\pi^*(\sigma)} \right) + \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \right) + \right. \\
& \left. + \left(\frac{\pi^*(\sigma)}{\pi_0} \right)^{\frac{\mu}{\sigma^2} - 1} \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{\pi_0}{\pi^*(\sigma)} \right) - \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \right) \right\}, \quad (2.1.8)
\end{aligned}$$

որտեղ Φ -ն ստանդարտ նորմալ բաշխմամբ պայմանավորված տիրույթ է: Վերը նշվածից երևում է, որ նույնիսկ կանոնիկ իրական օպցիոնի դեպքում (2.1.8) բանաձևը պարզ բանաձև չէ: Ավելին՝ այն չունի անալիտիկ լուծում, քանի որ Φ -ն կարող է որոշվել միայն թվային եղանակով: Հետևաբար ժամանակի յուրաքանչյուր պահի ներդրում կատարելու հավանականությունը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով.

$$P(T^* < \infty) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} P(T^* \leq t_0 + \tau): \quad (2.1.9)$$

Այժմ դիտարկենք անորոշության ազդեցությունը ներդրում կատարելու վարքագծի վրա կիբեռանվտանգության ոլորտի առանձնահատկությունների հաշվառմամբ: Այս համատեքստում, եթե տրված $\tau > 0$ ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը անորոշությանը զուգընթաց աճում է, ապա կարելի է եզրակացնել, որ աճող անորոշությունը արագացնում է ներդրում կատարելու հնարավորությունը: Հավանականության տեսության համաձայն՝ ներդրումը կարող է կատարվել միայն մեկ անգամ: Ուստի նախքան τ ժամանակի ավարտը ներդրում կատարելու հավանականությունը հստակորեն սահմանված է: Քանի որ ներդրում կատարելու հավանականությունն ընկած է $[0,1]$ փակ միջակայքում, ապա կարելի է պնդել, որ տրված $\tau > 0$ ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը միշտ գոյություն ունի, և այն հաշվելի է: Հետևաբար, նշված խնդրի տվյալ մեկնաբանության համաձայն, հնարավոր է չափել կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու հավանականությունը և որոշել ներդրում-անորոշություն հարաբերության նշանը անորոշության յուրաքանչյուր չափաբաժնի համար: Քանի որ հավանականությունը չափելի է,

ուստիև հնարավոր է հաշվել ներդրում կատարելու հակվածության մասնակի ածանցյալը անորոշության յուրաքանչյուր չափաբաժնի համար [63, 28, 10, 83]:

Նշվածի հաշվառմամբ դիտարկենք այն դեպքը, երբ որոշում կայացնողն ունի կոնկրետ նախագծում ($r > 0$) ոչ ռիսկային տոկոսադրույքով դիսկոնտավորելու և t_0 սկզբնական ժամանակում ներդրում կատարելու հնարավորություն, որտեղ ($z > 0$)-ը ներդրման ծախսերն են, իսկ π_t -ն նախագծից ստացվող եկամուտն է բոլոր ($t \geq t_0$)-ի համար: Քանի որ որոշում կայացնողը ներդրում կատարելիս ունի սպասելու հնարավորություն, ապա ներդրման հնարավորությունը դառնում է իրական օպցիոն: Հետևաբար անորոշության բացակայության դեպքում որոշում կայացնողի համար օպտիմալ լուծում է կիբեռանվտանգության ապահովման համար T^* ժամանակում ներդրում կատարելը, որն արտահայտված է հետևյալ հավասարմամբ.

$$e^{-rT^*} \left(\int_{\frac{z}{T^*}}^{\infty} \pi(s) e^{-r(s-T^*)} ds - z \right) = \max_{t \in [t_0, \infty]} \left\{ e^{-rt} \left(\int_{\frac{z}{t}}^{\infty} \pi(s) e^{-r(s-t)} ds - z \right) \right\} : \quad (2.1.10)$$

Ստացվում է, որ ($T^* > t_0$)-ի դեպքում նախքան տրված ($\tau > t_0$) ժամանակը ներդրում կատարելու հավանականությունը հավասար է զրոյի բոլոր ($\tau < T^*$)-ի համար և հավասար է մեկի բոլոր ($\tau > T^*$)-ի համար:

Այժմ ենթադրենք, որ դրամական հոսքերը (եկամուտները) անորոշ են, այսինքն՝ դրանք արտահայտված են որոշակի պատահական պրոցեսով: Իրական օպցիոնների ոլորտում կատարված հետազոտությունների համաձայն՝ անորոշության պայմաններում արդյունավետ է ներդրում կատարել, երբ π_t -ն հասնում է որոշակի շեմի, որը ժամանակից կախված է: Ըստ այդմ անորոշության պայմաններում ներդրում կատարելու օպտիմալ ժամանակը կլինի.

$$T^* = \inf \{ t \geq t_0 \mid \pi_t \geq \pi_t^* \} : \quad (2.1.11)$$

Այս պայմաններում, տրված $\tau > 0$ ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը կունենա $P(T^* \leq t_0 + \tau)$ տեսքը, որի համար անհրաժեշտաբար գործում է $\forall (\tau > 0), 0 \leq P(T^* \leq t_0 + \tau) \leq 1$ պայմանը: Ռեստի եկամուտներում առկա անորոշությունը կարող է միայն մեծացնել նախքան տրված $\tau < \overline{T^*}$ ժամանակը ներդրում կատարելու հավանականությունը, մինչդեռ այն կարող է միայն նվազեցնել նախքան տրված $\tau > \overline{T^*}$ ժամանակը ներդրում կատարելու հավանականությունը:

Այժմ անդրադառնանք նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակի վրա անորոշության ազդեցությանը: Եթե նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը անորոշության հետ աճում է, ապա կարելի է եզրակացնել, որ անորոշությունը նպաստում է ներդրում կատարելու հետաձգմանը: Եթե անվերջությունն ընդունենք որպես հավանական արժեք, ապա հավանականության տեսության համաձայն՝ ստացվում է, որ նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը հստակ որոշված է: Այսպիսով՝ նշված խնդրի տվյալ մեկնաբանությունը հնարավորություն է տալիս չափել ներդրում կատարելու հակվածությունը անորոշության յուրաքանչյուր չափաբաժնի համար, սակայն նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակի անվերջ լինելը դժվարացնում է քանակական եզրահանգումներ անել: Ավելին՝ կարելի է ասել, որ ներդրում-անորոշություն հարաբերության վերաբերյալ տվյալ մեկնաբանությունը կիրառելի չէ, եթե առկա է դրական հավանականություն, ինչը ցույց է տալիս, որ ներդրումը երբեք չի կատարվի [28, 84, 83]:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ դիտարկենք անորոշության ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վրա: Այս համատեքստում, աճող անորոշության դեպքում ներդրում կատարելը ուղղակիորեն չի ազդում ներդրման ժամանակի վրա: Մասնավորապես, $\pi^*(\sigma)$ -ն ուղղակիորեն չի օգտագործվում ժամանակի չափման համար, այլ անուղղակի կերպով օգտագործվում է (2.1.7), (2.1.8) կամ (2.1.9) հավասարումների օգնությամբ: Այնուամենայնիվ, նույնիսկ կանոնիկ իրական

օպցիոնի մոդելի դեպքում տրված π ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը, ինչպես նաև նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը, ոչ միայն անուղղակիորեն են կախված անորոշություններից՝ ներդրման π^* կրիտիկական մակարդակի միջոցով, այլ նաև ուղղակիորեն կախված են անորոշություններից [85]: Յետևաբար, միայն ներդրման կրիտիկական մակարդակի վրա անորոշության ազդեցությունը իմանալու պատճառով չի կարելի պնդել, որ աճող անորոշությունը նպաստում է ներդրում կատարելու հետաձգմանը: Ըստ այդմ, տվյալ մեկնաբանությամբ հնարավոր է չափել ներդրում կատարելու հակվածությունը, այսինքն՝ որոշել ներդրում-անորոշություն հարաբերության նշանը կամ հաշվել ներդրում կատարելու հակվածության մասնակի ածանցյալը անորոշության նկատմամբ: Ավելին՝ ներդրում կատարելու կրիտիկական մակարդակը ընդհանուր առմամբ կախված է $\pi^*(t)$ ժամանակից, ինչը խնդրահարույց էր լինի, եթե ներդրում-անորոշություն հարաբերության նշանը նույնը լիներ $\forall t$ -ի համար:

Այժմ դիտարկենք անորոշության ազդեցությունը նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակի վրա կամ վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը: Եթե աճող անորոշությունը նվազեցնում է նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը կամ, եթե այն մեծացնում է վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը, ապա կարելի է եզրակացնել, որ անորոշությունը հնարավորություն է տալիս ճշգրտել ներդրում կատարելու պայմանները: Վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը միշտ գոյություն ունի և այն միակն է: Նույնը վերաբերում է նաև նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակին, ուստի տվյալ մեկնաբանությունը հնարավորություն է տալիս անորոշության յուրաքանչյուր չափաբաժնի համար չափել ներդրում կատարելու հակվածությունը [28, 83, 86]:

Այս դեպքում պարզ է դառնում, որ աճող անորոշությունը նվազեցնում է ներդրում կատարելու հակվածությունը, ուստի

տվյալ մեկնաբանությունը թույլ է տալիս որոշել ներդրում-անորոշություն հարաբերության նշանը անորոշության յուրաքանչյուր չափաբաժնի համար, և այն կախված է որևէ լրացուցիչ պարամետրից: Տվյալ մեկնաբանությունը հնարավորություն է տալիս չափել անորոշության ազդեցությունը ներդրում կատարելու հակվածության վրա երկու տարբեր միավորներով. նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը չափվում է ժամանակահատվածներով, մինչդեռ վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը անչափելի է: Որքան մեծ է նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը, այնքան փոքր է ներդրում կատարելու հակվածությունը, մինչդեռ որքան մեծ է վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը, այնքան մեծ է ներդրում կատարելու հակվածությունը: Ստացվում է, որ ներդրում կատարելու հակվածության մասնակի ածանցյալը անորոշության նկատմամբ հստակ սահմանված է: Մասնավորապես, մասնակի ածանցյալը գոյություն ունի, երբ վերջավոր ժամանակում ներդրում կատարելու հավանականությունը հավասար է մեկի և նախքան ներդրում կատարելը սպասվող ժամանակը անվերջ է, քանի որ դա կանոնիկ իրական օպերիտի այն դեպքն է, երբ $\sigma = \sqrt{2\mu}$: Ուստի տվյալ մեկնաբանության կիրառման դեպքում ներդրում կատարելու հակվածության մասնակի ածանցյալը անորոշության նկատմամբ կարելի է լավագույն դեպքում որոշել հատվածաբար:

2.2. Կիբեռսպառնալ իքների մոդել ակորումը պատահական արդեսների միջոցով

Կիբեռսպառնալ իքների մոդել ակորումը բրոունյան շարժման միջոցով:

Ենթադրենք $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ -ը հավանականության տարածություն է Ω նմուշով և իր $\mathcal{F} := 2^\Omega$ ենթաբազմությունների σ -հանրահաշվով, որը ենթակա է $(P(\Omega) = 1)$ պայմանով նորմավորված $P: \mathcal{F} \rightarrow [0,1]$

հավանականությանը: Այս առումով, եթե $(\forall \omega \in \Omega \setminus N)$ և $(P(N) = 0)$, ապա այն համարվում է «գրեթե հավանական»: Ըստ այդմ, ստոխաստիկ պրոցեսը $\mathcal{I}$ ինդեքսի նկատմամբ դրսևորվող անկանոն փոփոխականների համախումբ է, ինչը անընդհատ ժամանակում $\mathcal{I} = [0, T]$ -ի նկատմամբ կհանգեցնի $(x_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ի, իսկ դիսկրետ ժամանակում՝ $\mathcal{I} = \{0, 1, \dots, T\}$ -ի նկատմամբ $(x_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ի, որտեղ t ժամանակում պրոցեսի վիճակը $\forall t \in \mathcal{I} (x(t) = x_t)$ պայմանը բավարարող x_t կամայական փոփոխական է: Նշենք նաև, որ վիճակի X տարածությունը պարունակում է այն հնարավոր վիճակները, որոնցով պատահական պրոցեսները կարող են արժեք ստանալ: Յետևաբար Ω տարածությունը X վիճակի տարածությունից ստացվող բոլոր հնարավոր ուղիների համախումբ է, այսինքն՝ $x(t, \omega): \mathcal{I} \times \Omega \rightarrow R$: Բացի այդ, Ω -ն ժամանակի յուրաքանչյուր $(t \in \mathcal{I})$ պահի ω -ի համար կարող է ապահովել x_t պրոցեսի դիրքը, այսինքն՝ $\omega: t \rightarrow x_t(\omega)$ [87, 82, 88]:

Ժամանակի ընթացքում տեղեկության ստանալու նպատակով ներմուծենք գտման (Φ իլտրացիայի) գաղափարը: $F = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$ գտումը $(\mathcal{F}; \mathcal{F}_{t-1} \subseteq \mathcal{F}_t, \forall t \geq 1)$ -ում առկա σ հանրահաշվի աճող հաջորդականությունն է, որտեղ $\mathcal{F}_t$ -ը մեկնաբանվում է որպես իրադարձությունների բազմություն, որոնք նշմարելի են t ժամանակում՝ պայմանով, որ գտումը պարունակում է այն իրադարձությունները, որոնք կարող են տեղի ունենալ մինչև t ժամանակը:

Այս համատեքստում $(\mathcal{F}_0(\emptyset, \Omega), \mathcal{F}_T = 2^\Omega)$ -ի պայմաններում $(\Omega, \mathcal{F}, (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ -ն կհամարենք գտված հավանականության ունենների տարածություն: Պատահական պրոցեսը կհամարենք հարմարեցված վերը նշված գտմանը, եթե $(\forall t, x_t)$ -ն $\mathcal{F}_t$ -ով չափելի է, այսինքն՝ յուրաքանչյուր պատահական պրոցես գեներացնում է $\mathcal{F}_t^x := \sigma(x_s, 0 \leq s \leq t)$ բնական գտում, որը հնարավորություն է տալիս հետևել ու պրոցեսի ընթացքին:

Յարկ է նշել, որ վիներյան ստանդարտ պրոցեսը $(\Omega, \mathcal{F}, (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ գտված հավանականության ունենների տարածությունում անընդհատ

ժամանակում հարմարեցված $(w_t)_{t \geq 0}$ պատահական պրոցես է, որը բավարարում է հետևյալ հատկանիշները.

1. $w_0 = 0$ «գրեթե հավանական» է,
2. $(w_s - w_t)$ -ն անկախ է $(\mathcal{F}_t \forall 0 \leq t < s)$ -ից,
3. $\forall (t, s) \in R_+ \times R_+ : t < s, w_s - w_t \sim N(0, s - t)$ (նորմալ ություն),
4. $t \rightarrow w_t \in C[0, \infty)$ (անընդհատությամբ):

Այս իմաստով սպառնալիքները՝ որպես պրոցեսների բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում պատահական դիֆերենցիալ հավասարումների կիրառմամբ մոդելավորելու համար սահմանենք.

$$dw_t := \sqrt{dt} \varepsilon_t \sim N(0, dt) \text{ for } \varepsilon_t \sim N(0, 1) : \quad (2.2.1)$$

Այսպիսով՝ w_t վիներյան ստանդարտ պրոցեսը կարող է կիրառվել որպես կառուցվածքային բլոկ՝ մեծ թվով պատահական փոփոխականների մոդելավորման համար: Իսկ պրոցեսում μ շեղման և σ փոփոխելիությունների ներառմամբ վերջինիս ընդլայնումը կվերածի այն ընդհանուր վիներյան պրոցեսի, որն ընդհանրացված բրոունյան շարժում է կամ Իտոյի պրոցես՝ $(\xi_t)_{t \geq 0}$.

$$d\xi_t = \mu(\xi_t, t)dt + \sigma(\xi_t, t)dw_t \sim N(\mu dt, \sigma^2 dt) : \quad (2.2.2)$$

Նշվածի հաշվառմամբ (2.2.2) հավասարման հատուկ դեպքը երկրաչափական բրոունյան շարժում է, որտեղ μ -ն և σ -ն հաստատուններ են, իսկ $\mu(\xi_t, t) = \mu\xi_t$, $\sigma(\xi_t, t) = \sigma\xi_t$, ուստի μ շեղման և σ փոփոխելիությունների հաշվառմամբ (2.2.2) հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$d\xi_t = \mu\xi_t dt + \sigma\xi_t dw_t \sim N(\mu dt, \sigma^2 dt), \quad (2.2.3)$$

որտեղ w_t -ն ստանդարտ վիներյան պրոցեսն է: Այն հարմար է ռիսկերի մոդելավորման համար, որովհետև, երբ ξ -ն սկսվում է դրական արժեքով, պրոցեսը միշտ մնում է դրական [89, 82, 87]:

Կարելի է հեշտությամբ ցույց տալ, որ (2.2.3) հավասարմամբ արտահայտված բրոունյան երկրաչափական շարժման համար ճիշտ է

այն տեսակետը, որ $(\forall(s, t): s > t)$ պայմանի դեպքում ξ_s -ն ունի նորմալ բաշխվածություն [89, 82].

$$E[\xi_s/\mathcal{F}_t] = \xi_t e^{\mu(s-t)}, \quad (2.2.4)$$

$$Var[\xi_s/\mathcal{F}_t] = \xi_t^2 e^{2\mu(s-t)}(e^{\sigma^2\mu(s-t)} - 1) : \quad (2.2.5)$$

Այս առումով, կիբեռնապառնալիքի պատահական պրոցեսում առկա մեծ անորոշության մոդելավորման համար հավանականությունները փոփոխելը օգտակար է: Գիրսանովի թեորեմի համաձայն՝ նոր հավանականության կիրառումը կարող է փոխել դիֆուզ պրոցեսի շեղումը [89, 90, 91]:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ $\mathcal{P}$ -ով նշանակենք օրիգինալ («իսկական») հավանականությունը, որը համարվում է ճիշտ, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի չեզոք դիրքորոշում: Հետևաբար մոդելում անորոշության գործոնն ավելացնելու համար ներմուծենք նոր «սուբյեկտիվ» հավանականություն, որը $\{P\}$ միակ հավանականության կերպափոխումն է $\mathcal{P}$ ոչ միակ հավանականությունների բազմության: Որպեսզի մեր ենթադրությունները հիմնավորվին հավանականության չափման փոփոխության վերաբերյալ, դիտարկենք նոր Q սուբյեկտիվ հավանականությունը, որի համար A իրադարձության հավանականությունը հաշվարկվում է $(\forall \omega \in \Omega)$ -ի բոլոր տարրերին $\eta(\omega)$ կշիռներ ավելացվելով այնպես, որ $(\forall A \in \mathcal{F})$ -ի համար $(\eta(\omega) \geq 0, \forall \omega \in \Omega)$ պահանջներին համապատասխանող նոր հավանականությունը լինի.

$$Q(A) = \int_A \eta(\omega) dP(\omega), \quad (2.2.6)$$

համապատասխանաբար՝

$$Q(\Omega) = \int_{\Omega} \eta(\omega) dP(\omega) = 1 : \quad (2.2.7)$$

Վերը ասվածից պարզ է դառնում, որ $dQ = \eta dP$, որն էլ իր հերթին հանգեցնում է Ռադոն-Նիկոդիսի ածանցյալին [89, 82, 87].

$$\frac{dQ}{dP} = \eta, \quad (2.2.8)$$

Այն կարելի է կիրառել տարբեր հավանականությունների պայմաններում կամայական փոփոխականի փոխարկման համար:

$$E^Q[x] = E^P[\eta x]: \quad (2.2.9)$$

Տվյալ դեպքում $\frac{dQ}{dP}$ -ը ճիշտ սահմանելու համար անհրաժեշտ է, որ երկու հավանականությունները լինեն համարժեք՝ $Q(A) > 0 \Leftrightarrow P(A) > 0, \forall A \in \mathcal{F}$ և Q -ն P -ի նկատմամբ լինի բացարձակ անընդհատ՝ $P(A) = 0 \Rightarrow Q(A) = 0, \forall A \in \mathcal{F}$: Այնուհետև Գիրսանովի թեորեմի կիրառմամբ ցույց կտանք, որ նոր հավանականությունը կարող է փոխել օրիգինալ P բրոունյան շարժման ուղղությունը:

Գիրսանովի թեորեմ: $\theta = (\theta_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ով նշագրենք Նովիկովի պայմանը բավարարող և P -բրոունյան $\mathcal{F}_t^W$ բնական գտմանը հարմարեցված պրոցեսը:

$$E^P \left[\exp \left(\frac{1}{2} \int_0^T \theta_s^2 ds \right) \right] < \infty : \quad (2.2.10)$$

Այս դեպքում առկա է նոր Q^θ համարժեք հավանականություն, ըստորի՝ $(\tilde{w}_t^\theta)_{0 \leq t \leq T}$ -ը $(w_t)_{0 \leq t \leq T}$ P բրոունյան շարժմանը համարժեք Q^θ բրոունյան շարժում է $(\tilde{w}_0^\theta = 0)$ -ի պայմաններում $(\theta_t)_{0 \leq t \leq T}$ շեղումով:

$$\tilde{w}_t^\theta := w_t + \int_0^t \theta_s ds, \quad (2.2.11)$$

$$d\tilde{w}_t^\theta = \theta_t dt + dw_t : \quad (2.2.12)$$

Ընդամիս նոր Q^θ բրոունյան շարժումը բնութագրվում է իր Ռադոն-Նիկոդիսի ածանցյալով, որը բավարարում է $\forall t \in [0, T]$ պայմանը.

$$\left. \frac{dQ^\theta}{dP} \right|_{\mathcal{F}_t} = \exp \left(- \int_0^t \theta_s dw_s - \frac{1}{2} \int_0^t \theta_s^2 ds \right) := \eta_t^\theta : \quad (2.2.13)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ Ռադոն-Նիկոդիի ածանցյալը P -ի և Q^θ -ի պայմաններում կարելի է դիտարկել որպես պրոցեսների խոռոչ անհարաբերակցություն:

$$\begin{aligned} \frac{dQ^\theta}{dP} &= \frac{\phi^Q(w_T)}{\phi^P(w_T)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \exp\left(-\frac{1}{2T}(w_T + \theta T)^2\right)}{\frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \exp\left(-\frac{1}{2T}w_T^2\right)} = \exp\left(-\frac{1}{2T}(w_T + \theta T)^2\right) \cdot \\ &= \exp\left(-\theta w_T - \frac{1}{2}\theta^2 T\right) = \exp\left(-\int_0^T \theta_s w_s - \frac{1}{2} \int_0^T \theta_s^2 ds\right). \end{aligned} \quad (2.2.14)$$

Այսպիսով, $(\theta_t)_{0 \leq t \leq T}$ պրոցեսը նոր Q^θ հավանականության համար կարելի է մեկնաբանել որպես խոռոչ ան գեներատոր [92, 90, 87], որը փոխում է $(w_t)_{0 \leq t \leq T}$ P բրոունյան շարժմամբ գեներացված և (2.2.15) ու (2.2.16) հավասարումներով արտահայտված $(\xi_t)_{0 \leq t \leq T}$ պատահական պրոցեսը $(\tilde{w}_t^\theta)_{0 \leq t \leq T}$ Q^θ բրոունյան շարժումը դիտարկելիս:

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t, \quad (2.2.15)$$

$$d\xi_t = (\mu - \theta \sigma) \xi_t dt + \sigma \xi_t d\tilde{w}_t^\theta: \quad (2.2.16)$$

Քանի որ ըստ Գիրսանովի թեորեմի՝ $\tilde{w}_t^\theta$ -ն բրոունյան շարժում է Q^θ -ի նկատմամբ, ապա ξ_t -ն նույնպես (2.2.16) պատահական դիֆերենցիալ հավասարման լուծումն է, եթե Q^θ -ն ընկած է հավանականության հիմքում: Սանշանակում է, որ կամիայն մեկ ξ_t պատահական պրոցես, որն ունի պատահական դիֆերենցիալ հավասարումների բազմաթիվ մեկնաբանություններ: Ուստի (2.2.15) և (2.2.16) հավասարումները ξ_t -ի երկու տարբեր դրսևորումներ են, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանում է $(\theta \in \Theta)$ պայմանին:

Վերը նշվածը հաշվի առնելով՝ կարելի է ցույց տալ, թե ինչպես է $(\xi_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ի վերաբերյալ անորոշությունը բնութագրվում

միակ բազմության ընդլայնմամբ, որը պարունակում է $(\Omega, \mathcal{F}_T)$ -ի դիտարկմամբ $\mathcal{P}^\theta$ հավանականությունների բազմության նկատմամբ (P) օրիգինալ հավանականությունը, ինչը սահմանվում է Θ խտության գեներատորների θ տարրերով՝ սահմանելով հնարավոր $(\xi_t)_{0 \leq t \leq T}$ շեղումների շարքը.

$$\mathcal{P}^\Theta = \{Q^\theta | \theta \in \Theta\}: \quad (2.2.17)$$

Հարկ է նշել նաև, որ Գիրսանովի թեորեմի կիրառման միջոցով մոդելում առկա անորոշությունը փոխում է բրոունյան շարժումը՝ դիտարկելով շեղումը, բայց ոչ փոփոխել իությունը:

Այս համատեքստում ենթադրվում է նաև, որ տեղի է ունենում փոքր շեղում օրիգինալ P հավանականությունից, ինչը նշանակում է, որ խտության գեներատորների շարժողականությունը սահմանափակվում է այսպես կոչված հարևան հավանականությունների P բազմությամբ: Ընդսմին $\mathcal{P}^\Theta$ -ի առանձնահատկություններին ծանոթանալու համար անդրադառնանք Θ -ի կառուցվածքին:

Այսպես $(\theta_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ով նշագրենք բոլոր իրական արժեք ունեցող, հաշվելի և $(\Omega, \mathcal{F}_T, P)$ -ի հաշվառմամբ $(\mathcal{F}_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ին հարմարեցված $[0, T]$ ինդեքսով պրոցեսները: Այս պայմաններում $\mathcal{P}^\Theta$ -ն դիտվում է որպես ուղղանկյուն, եթե առկա է կոմպակտ, (փակ և սահմանափակ) ոչ դատարկ $(K \subset R)$ բազմություն $(\Theta_t: \Omega \rightarrow K, \forall t \in [0, T])$ համապատասխան և $(\Theta_t)_{0 \leq t \leq T}$ պրոցես, այնպես, որ.

$$\Theta = \{(\theta_t)_{0 \leq t \leq T}: \theta_t(\omega) \in \Theta_t(\omega)(dt \otimes dP)\}: \quad (2.2.18)$$

Եթե $\mathcal{P}^\Theta$ -ն ուղղանկյուն է, ապա $(\forall \theta \in \Theta)$ -ն բավարարում է Նովիկովի պայմանը, քանի որ $(\theta_t, \forall t)$ -ն K կոմպակտ բազմության ենթաբազմություն է: Հետևաբար θ -ն իսկապես խտության գեներատոր է:

[92, 90]-ում դիտարկված բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում $(\Theta_t \subset R)$ -ը անկախ է t ժամանակից: Ընդսմին $k \geq 0$ դեպքում $\Theta = [-k, k]$ հատուկ դեպքը կանվանենք այսպես կոչված k

անորոշություն: Այս համառոտացում ($\sigma > 0$)-ի դեպքում վերին եզրի խտության գեներատորը կստանանք հետևյալ կերպ.

$$\bar{\theta}_t := \operatorname{argmax}\{x\sigma | x \in \Theta\} = k : \quad (2.2.19)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ մեծ անորոշությունը կմոդելավորվի որպես Θ -ի բազմություն, որը տրված պատահական պրոցեսի համար ստեղծում է $\mathcal{P}^\Theta$ հավանականությունների շարքը և համապատասխան շեղումների բազմությունը: Այսպիսով, եթե ($k = 0$), ապա նախապատվությունների շարքը նվազեցվում է միակի, քանի որ այժմ դիտարկվում է միայն մեկ հավանականություն, այսինքն՝

$\mathcal{P}^\Theta = \{Q^\theta\} := \{P\}$ օրիգինալ հավանականությունը: Ուստի որքան մեծ է k -ն ($k > 0$), այնքան բարձր է տրված պատահական պրոցեսի անորոշության մակարդակը:

Այսպիսով՝ [92, 90] -ում ներկայացված մոդելում առկա մեծ անորոշությամբ պայմանավորված երկրաչափական բրոունյան շարժումը կարելի է բնութագրել որպես k անորոշություն: Այսինքն՝ k անորոշության պայմաններում երկրաչափական բրոունյան շարժումը $(\xi_t)_{0 \leq t \leq T}$ պատահական պրոցեսն է ($k \geq 0$)-ի, $(\mu - \theta\sigma)$ շեղման և σ փոփոխելիության պայմաններում՝ $\tilde{w}_t^\theta \in Q^\theta$ վիներյան պրոցեսի հաշվառմամբ.

$$d\xi_t = (\mu - \theta\sigma)\xi_t dt + \sigma\xi_t d\tilde{w}_t^\theta, \forall \theta \in \Theta = [-k, k] : \quad (2.2.20)$$

Հարկ է նշել նաև, որ ուղղանկյունությամբ հաստատվում է, որ նախապատվություններն ունեն ռեկուրսիվ կառուցվածք, ինչը հնարավորություն է տալիս լավարկման (օպտիմալացման) խնդիրները դարձնել դինամիկորեն կայուն:

$$\min_{\theta \in \Theta} E^{Q^\theta}[x | \mathcal{F}_t] = \min_{\theta \in \Theta} E^{Q^\theta}[E^{Q^\theta}[x | \mathcal{F}_s] | \mathcal{F}_t] == \min_{\theta \in \Theta} E^{Q^\theta} \left[\min_{\theta' \in \Theta} E^{Q^{\theta'}}[x | \mathcal{F}_s] | \mathcal{F}_t \right] : \quad (2.2.21)$$

Մասնավորապես, ($0 \leq t \leq s \leq T$) պայմանի դեպքում (2.2.21)-ում առաջին հավասարությունը միշտ ճիշտ է կրկնվող ակնկալիքների

պարագայում, մինչդեռ երկրորդ հավասարությանը ճիշտ է միայն այն դեպքում, երբ P^Q -ն ուղղանկյուննային է:

Կիբեռսպտնալ իքների մոդելավորումը շոկեբրոունյան պրոցեսների միջոցով: Որոշումների կայացման ժամանակակից տեսության մեջ Լեբեսգի ինտեգրալների ու հավանականության ունենների հետ համեմատության կարգով շոկե ինտեգրալների կիրառումը հնարավորություն է տալիս ավելի արդյունավետ կերպով կատարել որոշումների մոդելավորումը [29, 93, 94]:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ ընդունենք, որ S վիճակների վերջավոր բազմությունը ν իրական ֆունկցիա է S -ի ենթաբազմություններով այնպես, որ [29].

$$\begin{cases} A \subseteq B \Rightarrow \nu(A) \leq \nu(B) \\ \nu(\Phi) = 0, \quad \nu(S) = 1 \\ \nu(A) + \nu(B) \leq \nu(A \cup B) + \nu(A \cap B), \quad A, B \in S \end{cases} : \quad (2.2.22)$$

Տվյալ դեպքում, երբ նախապատվությունները ներկայացվում են դիվերսիֆիկացված հնարավորություններով (convex capacities), սպասվող օգտակարությունը հնարավոր է հաշվել Լեբեսգի ինտեգրալներով:

[93, 29]-ում դիտարկվում է որոշումների կայացման տեսության մեջ անորոշության պայմաններում շոկե ինտեգրալների կիրառման աբստրակցիոն, որտեղ որոշում կայացնողի նախապատվությունները ներկայացված են դիսկոնտավորված շոկե ակնկալիքներով՝ r տոկոսադրույքով և ν կարողության հաշվառմամբ: Ըստ այդմ պրոցեսի որոշակիության համարժեքը կարտահայտվի հետևյալ ձևով.

$$DE(x) = \sum_{t=0}^T r(t) E_{\nu}(x_t), \quad (2.2.23)$$

որտեղ

$$E_{\nu}(x_t) = \sum_{s_i \in S_i} x_t(s_i) \Delta \nu(s_i), \quad (2.2.24)$$

որի համար $\{s_{N+1}\} = \emptyset$ պայմաններում գործում է հետևյալ արտահայտությունը.

$$x_i(s_i) \leq \dots \leq x_i(s_N), \Delta v(s_n) = v(\{s_n, \dots, s_N\}) - v(\{s_{n+1}, \dots, s_N\}) : \quad (2.2.25)$$

Վերը նշվածի համաձայն՝ շոկեբրոունյան շարժումները հասկանալու համար կարևոր է դրանք դիտարկել որպես անընդհատ ժամանակում կատարվող շոկե կամայական քայլերի միջակայքեր, որոնք դինամիկորեն կայուն են: Ընդսմին դինամիկորեն կայուն շոկե կամայական քայլը լիովին սահմանվում է v միակ կարողությամբ, ավելին՝ դրանք սահմանվում են դիսկրետ ժամանակում բինոմիալ ծառի միջոցով՝ անորոշության հաշվառմամբ [29, 95]:

Շոկե կամայական քայլը բնութագրելու համար ընդունենք, որ $(0 \leq t < T)$ ժամանակում ցանկացած s_t հանգույցի համար պայմանական c կարողությունը հաստատուն է, եթե s_{t+1}^u -ը և s_{t+1}^d -ը $(t+1)$ ժամանակում s_t -ի երկու հնարավոր հաջորդներն են (համապատասխանաբար՝ «վեր» ու «վար» շարժումներն են բինոմիալ ծառի դեպքում): Տվյալ դեպքում պատահական քայլը համաչափ է, ինչը նշանակում է, որ վեր ու վար շարժումները կատարվում են նույն չափով այնպես, որ.

$$v(s_{t+1}^u/s_t) = v(s_{t+1}^d/s_t) = c, \quad \text{with } 0 < c < 1 : \quad (2.2.26)$$

Վերը նշվածից պարզ է, որ c պարամետրը նման սահմանման համար ունի առանցքային նշանակություն, հետևաբար, այն ամփոփում է որոշում կայացնողի դիրքորոշումը անորոշության նկատմամբ, քանի որ դինամիկան նկարագրվում է դիսկրետ ժամանակում կատարվող շարժմամբ, որում $1/2$ հավանականությունը փոխարինվում է որոշում կայացնողի վեր ու վար շարժումներում անորոշության կշիռը ներկայացնող հաստատուն c -ով: Այս դեպքում, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական դիրքորոշում, կարողությունը ենթադրաբար է, որն այն միակ դեպքն է, երբ c պարամետրն արժեք է ստանում: Այս փուլում հարկ է նշել նաև, որ

եթե $c = 1/2$, ապա որպես հատուկ դեպք գործ ունենք հավանականության հետ: Տվյալ դեպքում մեծ անորոշության ան աճը նշանակում է, որ c պարամետրի արժեքը շեղվում է $1/2$ արժեքից, ինչը համապատասխանում է անորոշության բացակայության պայմաններում հավանականային դեպքին:

Նման համաչափ պատահական քայլի ներբերումը անընդհատ ժամանակում $(m = 2c - 1)$ միջինով (mean) և $(s^2 = 4c(1 - c))$ տարբերությամբ (variance) վիներյան պրոցեսի գուգամիտումն է: Անընդհատ ժամանակում բրոունյան շարժման նկատմամբ այս գուգամիտությունը թույլ է տալիս շոկեբրոունյան շարժումը կիրառել իրական օպցիոնների մոդելներում, ինչն էլ իր հերթին հնարավորություն է տալիս կիբեռնոմիջավայրում առկա մեծ անորոշության պայմաններում և կիբեռնոպառնալիքների պատահական բնույթի հաշվառմամբ լուծել օպտիմալ ներդրումային խնդիրներ [29, 95, 93, 82]:

Ընդհանուր առմամբ, վերը նշված պնդումը թույլ է տալիս հաշվի առնել ոչ միայն կիբեռնանվտանգության ոլորտում իրականացվող ներդրումային ծրագրի արժեքն ու կիբեռնոպառնալիքների պատահական բնույթը, այլ նաև մեկ պարամետրով՝ c , դիտարկել որոշում կայացնողի դիրքորոշումը մեծ անորոշության նկատմամբ [29, 82, 94]: Հետևաբար, տվյալ մոտեցման համար կիբեռնոպառնալիքները վերաճակերպենք հետևյալ կերպ.

$$d\xi_t = \mu\xi_t dt + \sigma\xi_t d\tilde{w}_t^c, \quad (2.2.27)$$

որտեղ $d\tilde{w}_t^c = mdt + sdw_t$, իսկ $\tilde{w}_t^c$ -ն ընդհանուր վիներյան պրոցեսն է $(m = 2c - 1)$ միջինով և $(s^2 = 4c(1 - c))$ տարբերությամբ: Ըստ այդմ, կստանանք հետևյալ պատահական դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$d\xi_t = (\mu + m\sigma)\xi_t dt + s\sigma\xi_t dw_t: \quad (2.2.28)$$

Տվյալ դեպքում m և s պարամետրերը ցույց են տալիս որոշում կայացնողի դիրքորոշումը անորոշության նկատմամբ: Օրինակ, եթե որոշում կայացնողը անորոշության նկատմամբ ունի բացասական դիրքորոշում, ապա ($c < 1/2$): Հետևաբար ($0 < c < 1/2$)-ը

ենթադրում է, որ տեղի ունեն $(-1 < m < 0)$ և $(0 < s < 1)$, ինչպես նաև $(\mu + m\sigma < \mu)$ և $(0 < s\sigma < \sigma)$ պայմանները, ինչը հնարավորություն է տալիս հասկանալու շոկերոտունյան անորոշության ազդեցությունը կիբեռնապառնալիքների վրա:

2.3. Ներդրումների դինամիկական մոդել ավորումը

Ներդրումների երկփուլ մոդել: Կիբեռնանվտանգության ոլորտում դինամիկական ներդրումների մոդելավորման համար դիտարկենք ներդրումների երկփուլ մեթոդը: Նախընդունենք, որ կիբեռնանվտանգության ապահովման համար կազմակերպությունը ներդնում է z գումար [60]: Այս համատեքստում ենթադրենք, որ ընթացիկ առաջին փուլից ստացվող եկամուտը B_0 -ն է, իսկ երկրորդ փուլից հետո եկամուտը կկազմի $(1+u)B_0$ ՝ $(1-q)$ հավանականությամբ: Ըստայդմ ներդրումից սպասվող V_0 եկամուտի արժեքը կլինի.

$$\begin{aligned} V_0 &= B_0 + [q(1+u)B_0 + (1-q)(1-d)B_0] \left[\frac{1}{1+r} + \frac{1}{(1+r)^2} + \dots \right] = \\ &= B_0 + [1 + q(u+d) - d] B_0 \frac{1/(1+r)}{1 - 1/(1+r)} = \\ &= B_0 [1 + r + q(u+d) - d] / r, \end{aligned} \quad \begin{matrix} (2.3. \\ 1) \end{matrix}$$

որտեղ r -ը տարեկան տոկոսադրույքն է:

Տվյալ դեպքում, երբ ներդրվող z գումարն ավելի փոքր է, քան ներդրումից սպասվող V_0 եկամուտի ընթացիկ արժեքը, այսինքն՝ $(z < V_0)$, ապա ներդրումը կկատարվի, և կազմակերպությունը կունենա $(V_0 - z)$ մաքուր եկամուտ: Այն դեպքում, երբ $(z > V_0)$, ներդրում չի արվի և կազմակերպությունը կունենա 0 եկամուտ, իսկ երբ $(z = V_0)$, կարելի է ասել, որ կազմակերպությունը անտարբեր է ներդրում կատարելու հանդեպ:

Վերլուծելով կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի V_0 արժեքը (սպասվող եկամուտի ընթացիկ արժեքը)՝ կազմակերպությունը ներդրում կատարելու օպցիոնի արժեքը որոշելու համար կհամեմատի այն համապատասխան ներդրման z ծախսի հետ.

$$\Omega_0 = \max_{(z \in R)} [V_0 - z, 0] : \quad (2.3.2)$$

Հետևաբար առաջին փուլում կիրառված գումարային ուղորդումներ դրույին որոշումը ենթադրում է ընտրության հետևյալ տարբերակները. ներդնել հիմա կամ սպասել երկրորդ փուլի մեկնարկի համար լավագույնն պահին: Այս ամենը գնահատելու համար կազմակերպությունը պետք է հաշվի առնի ապագա կանխատեսվող գործողությունները (օրինակ, հայտնաբերված կամ հնարավոր խախտումները):

Երկրորդ փուլից հետո պայմանները չեն փոխվում, ըստ այդմ, եթե նախագիծը տվյալ փուլում եկամտաբեր է, տվյալ նախագիծում ներդրման հետագումը ռացիոնալ չէ, ուստի կդիտարկվի ներդրման միայն երկրորդ փուլը:

Ենթադրենք կազմակերպությունը ներդրում չի անում առաջին փուլում և սպասում է ներդրման համար ավելի նպաստավոր պայմանների ի հայտ գալուն: Այս դեպքում երկրորդ փուլից ստացվող եկամուտը կլինի.

$$B_1 = \begin{cases} (1 + u)B_0 & q \text{ հավանականությամբ,} \\ (1 - d)B_0 & 1 - q \text{ հավանականությամբ} \end{cases} : \quad (2.3.3)$$

Տվյալ դեպքում եկամուտը երրորդ, չորրորդ և հաջորդ փուլերում մնում է նույնը: Հետևաբար, եկամուտների հոսքի ընթացիկ արժեքը դիսկոնտավորելով երկրորդ փուլի համար՝ կստանանք.

$$V_1 = B_1 + B_1/(1 + r) + B_1/(1 + r)^2 + \dots = + B_1(1 + r)/r : \quad (2.3.4)$$

Երկու հնարավորություններից յուրաքանչյուրի դեպքում, երբ եկամուտը առաջին և երկրորդ փուլերի միջև աճում կամ նվազում է, կազմակերպությունը ներդրումը կկատարի՝ հաշվի առնելով ($V_1 > z$) պայմանը և կստանա հետևյալ արդյունքը.

$$F_1 = \max_{(z \in R)} [V_1 - z, 0], \quad (2.3.5)$$

որը կանվանենք պարբերական արժեք (continuation value) [63]: Առաջին փուլի տեսանկյունից երկրորդ փուլի B_1 եկամուտը և հետևաբար V_1 և F_1 արժեքները կամայական փոփոխականներ են: E_0 -ով նշանակենք հավանականային կշռի միջին արժեքը, որը ստացվում է առաջին

փուլի հաշվարկների հիման վրա: Այնուհետև, (2.3.3), (2.3.4) և (2.3.5) հավասարումներից կստանանք հետևյալ պարբերական արժեքը.

$$E_0[F_1] = q \max_{(z \in R)} [(1+u)B_0(1+r)/r - z, 0] - \\ -(1-q) \max_{(z \in R)} [(1-d)B_0(1+r)/r - z, 0] : \quad (2.3.6)$$

Առաջին փուլում կազմակերպությունն ունի երկու ընտրություն: Անհապաղ ներդրման դեպքում կազմակերպությունը կունենա եկամուտի ընթացիկ արժեքի և ներդրուման ծախսերի տարբերությունը, այսինքն՝ $(V_0 - z)$: Հակառակ դեպքում՝ կստացվի (2.3.6) հավասարմամբ ներկայացրած $E_0[F_1]$ պարբերական արժեքը, որն սկսվում է երկրորդ փուլում և պետք է r տոկոսադրույքով դիսկոնտավորվի առաջին փուլի համար: Ակնհայտ է, որ օպտիմալ ընտրությունը ավելի մեծ արժեք ունեցող տարբերակն է:

Այժմ F_0 -ով նշանակենք ամբողջ ներդրման գուտ ընթացիկ արժեքը, ըստ այդմ կստանանք.

$$F_0 = \max_{(z \in R)} \left\{ V_0 - z, \frac{1}{1+r} E_0[F_1] \right\} : \quad (2.3.7)$$

Այս տեսանկյունից հարկ է նշել, որ (2.3.7) հավասարումն արտահայտում է պատահական դինամիկական ծրագրավորման հիմնական գաղափարը: Այսինքն՝ որոշումների կայացման ամբողջ հաջորդականությունը բաժանվում է երկու մասի. որոշման անհապաղ կայացում և դրանից հետո կայացվող որոշումները, ըստ որոնց բոլոր արդյունքները մեկտեղվում են (2.3.6) հավասարմամբ ներկայացված պարբերական արժեքում:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ որոշումների կայացման օպտիմալ հաջորդականությունը գտնելու համար առաջնորդվենք հետադարձ սկզբունքով: Որոշումների կայացման վերջնակետում կարելի է ընտրել լավագույն տարբերակը և այս կերպ գտնել նաև F_1 պարբերական արժեքը: Որոշումների կայացման նախորդ փուլում պարզ է դառնում նաև սպասվող պարբերական արժեքը՝ հնարավորությունն ընձեռելով լավարկել ընթացիկ ընտրությունը: Տվյալ դեպքում դիտարկվող ներդրումային

մոդելը երկփուլ է: Հավելյալ փուլերի առկայության պայմաններում նույն գործընթացը կկրկնվի:

Կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումներում հիմնական խնդիրը ներդրումից սպասվող եկամուտի գնահատումն է: Կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումներում հիմնական եկամուտը ապագա խնայողության ունեներն են, որոնք ստացվում են կիբեռանվտանգային խաթարումներից առաջացող կորուստների կանխարգելմամբ: Որքան բարձր է կազմակերպության անվտանգության մակարդակը, այնքան քիչ կորուստներ այն կունենա կիբեռանվտանգային խաթարումներից: Այսպիսով՝ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումներից սպասվող եկամուտը գնահատելու համար կազմակերպությունը նախ պետք է գնահատի կիբեռանվտանգային խաթարումներից սպասվող պոտենցիալ կորուստները: Նշված գնահատումները կարելի է անել նախկին փորձի հիման վրա:

Կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումներից սպասվող եկամուտի գնահատման խնդրի լուծման մեկ այլ մոտեցում է «սպասենք-տեսնենք» եղանակը: Այս դեպքում երկրորդ փուլում ներդրում կատարելու վերաբերյալ որոշումն ավելի քիչ սահմանափակումներով (սպասենք-տեսնենք) է, քան առաջին փուլում (հիմա կամ երբեք): (2.3.2) հավասարումը ցույց է տալիս ներդրումից սպասվող Ω_0 գուտարդյունքը, քանի որ տվյալ դեպքում որոշում կայացնելու գործընթացը ընդհատվում է առաջին փուլում (անվանենք այն առաջին փուլի ընդհատման արժեք): Նշենք նաև, որ (2.3.7) հավասարումից ստացվում է F_0 -ի մաքուր արժեքը: Այս տեսանկյունից ($F_0 - \Omega_0$) տարբերությունը «հավելյալ ազատության» արժեքն է, այսինքն՝ որոշում կայացնելը հետաձգելու օպիոնը («սպասենք-տեսնենք» մոտեցում):

Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելը հետաձգելու օպիոնի արժեքի վրա ազդող գործոնների վերաբերյալ ավելի լավ պատկերացում կազմելու համար ավելի մանրամասն ուսումնասիրենք F_0 -ի և Ω_0 -ի միջև եղած

տարբերությունները: Առաջին. հետաձգելով որոշում կայացնելը՝ կազմակերպությունը հրաժարվում է առաջին փուլից ստացվող B_0 եկամուտից, ինչն էլ բերում է անհապաղ գործողության: Երկրորդ. հետաձգելով որոշման կայացումը՝ նշանակում է հրաժարում ներդրումային ծախսերից, որը նպաստավոր պայման է ստեղծում սպասելու համար, քանի որ տարեկան տոկոսադրույքը դրական է: Երրորդ և ամենակարևորը՝ սպասելը հնարավորություն է տալիս առանձին-առանձին լավարկել եկամուտի աճի կամ նվազման հնարավորությունները, մինչդեռ անհրաժեշտ է անհապաղ գործել՝ հիմնվելով միայն երկուսի միջինի վրա, որը մասնավորապես հնարավորություն է տալիս ձեռնպահ մնալ ներդրում կատարելուց, երբ եկամուտը նվազում է՝ այս կերպ հավելյալ բարձրացնելով սպասելու արժեքը:

Ներդրումների բազմափուլ մոդել: Այժմ դիտարկենք այն իրավիճակները, երբ կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումային մոդելները կիրառվում են անընդհատ ժամանակում, և անորոշությունը վիճակի փոփոխականի համար ընդունում է ընդհանուր դիֆուզ պրոցեսների ձև: Դրանք Մարկովի պրոցեսներ են, որոնք կարելի է դիտարկել որպես դիսկրետ ժամանակում արվող պատահական քայլերի սահմաններ, որտեղ յուրաքանչյուր քայլի և յուրաքանչյուր ժամանակահատվածի տևողությունը փոքրանում է [96]:

Կազմակերպության կիբեռանվտանգության ընթացիկ վիճակը նկարագրենք x փոփոխականով: Ցանկացած t ժամանակահատվածի համար x_t փոփոխականի ընթացիկ արժեքը հայտնի է, մինչդեռ $(x_{t+1}, x_{t+2}, \dots)$ ապագա արժեքները պատահական փոփոխականներ են: Տվյալ դեպքում ենթադրվում է նաև, որ դիտարկվող պրոցեսը Մարկովի պրոցես է, ինչը նշանակում է, որ ապագա արժեքների հավանականային բաշխման վերաբերյալ ամբողջ տեղեկությամբ ամփոփվում է x_t ընթացիկ վիճակում:

Յուրաքանչյուր t փուլի համար կազմակերպությունն ունի ընտրության որոշ հնարավորություններ, որոնք ներկայացվում

են u կարգավորող փոփոխականով (տվյալ դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրման չափը): t ժամանակում x_t -ի արժեքը պետք է որոշել միայն տվյալ ժամանակում առկա տեղեկության թի հաշվառմամբ, այսինքն՝ x_t -ի միջոցով:

Վիճակի և կարգավորող փոփոխականները, որոնք t ժամանակում ազդում են կազմակերպության եկամուտների հոսքի վրա, նշանակենք $\pi_t(x_t, u_t)$ -ով: Նշենք նաև, որ t փուլում x_t և u_t փոփոխականներն ազդում են նաև ապագա վիճակների հավանականային բաշխման վրա: Ըստ այդմ կուտակային հավանականային բաշխման ֆունկցիան նշանակենք $\Phi_t(x_{t+1}/x_t, u_t)$ -ով:

Այս պայմաններում յուրաքանչյուր երկու փուլի միջև դիսկոնտավորումը կարելի է կատարել $(\frac{1}{1+\rho})$ -ով, որտեղ ρ -ն դիսկոնտավորման գործակիցն է: Դրա նպատակը ժամանակի ընթացքում եկամուտի գուտ ընթացիկ արժեքը առավելագույնի հասցնելու միջոցով $\{u_t\}$ կարգավորող փոփոխականների հաջորդականության ընտրությունն է: Երբեմն հարկ է լինում ընդհատել որոշում կայացնելու գործընթացը, ինչ-որ T փուլում՝ ունենալով տվյալ փուլի վիճակից կախած եկամուտ: Ըստ այդմ վերջինս նշանակենք $\Omega_T(x_t)$ -ով:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ կիրառենք պատահական դինամիկական ծրագրավորման մեթոդը, որի նպատակն է որոշումների կայացման հաջորդականությունը բաժանել երկու մասի՝ անհապաղ որոշում կայացնելու փուլ և դրան հաջորդող մնացած այլ փուլերը: Ենթադրենք ընթացիկ ժամանակը t -ն է, իսկ վիճակի փոփոխականը՝ x_t -ն: Այս համատեքստում $F_T(x_t)$ -ով նշանակենք կազմակերպության կողմից օպտիմալ որոշումների կայացման արդյունքը, որը եկամուտի հոսքերի գուտներկա արժեքն է:

Կազմակերպության կողմից u_t կարգավորող փոփոխականի ընտրության դեպքում անհապաղ ներդրում կատարելու ցատացվում է $\pi_t(x_t, u_t)$ եկամուտի հոսքը: Հաջորդ $(t+1)$ փուլում վիճակի փոփոխականը կլինի x_{t+1} , որի դեպքում օպտիմալ որոշումները կկայացվեն համաձայն $F_{t+1}(x_{t+1})$ -ի: Սա կամայական ընտրությունն

կլիսի t փուլի տեսանկյունից, ուստի անհրաժեշտ է դիտարկել վերջինիս $E_t[F_{t+1}(x_{t+1})]$ սպասվող արժեքը, այսինքն՝ պարբերական արժեքը.

$$E_t[F_{t+1}(x_{t+1})] = \int F_{t+1}(x_{t+1}) d\Phi_t(x_{t+1}/x_t, u_t), \quad (2.3.8)$$

որտեղ ինտեգրման միջակայքը այնպիսին է, որ x_{t+1} -ը բաշխված է, այսինքն՝ $\Phi_t(x_{t+1}/x_t, u_t)$: Նշվածը t փուլի համար դիսկոնտավորելով՝ անհապաղ ներդրումից սպասվող եկամուտը և պարբերական արժեքը կլիսի.

$$\pi_t(x_t, u_t) + \frac{1}{1+\rho} E_t[F_{t+1}(x_{t+1})] : \quad (2.3.9)$$

Այս դեպքում ընտրելով u_t -ն՝ կազմակերպությունը կառավել արկի (2.3.9) արտահայտությունը, որի համաձայն արդյունքը կլիսի $F_t(x_t)$ արժեքը: Յետևաբար,

$$F_t(x_t) = \max_{u_t} \left\{ \pi_t(x_t, u_t) + \frac{1}{1+\rho} E_t[F_{t+1}(x_{t+1})] \right\} : \quad (2.3.10)$$

Վերը նշվածը հիմնավորված է Բելմանի օպտիմալության սկզբունքում, ըստ որի օպտիմալ մոտեցումն ունի այնպիսի հատկություն, որ անկախ նախնական գործողությունից, հետագա ընտրությունների օպտիմալությունը բխում է նախնական գործողությունից: Այստեղ մնացած ընտրությունների օպտիմալությունը u_{t+1}, u_{t+2} և այլն ներառվում են պարբերական արժեքի մեջ, ուստի մնում է միայն օպտիմալ կերպով ընտրել u_t -ի արժեքը [97, 98]: Յետևաբար (2.3.10) հավասարումը կանվանենք Բելմանի հավասարում կամ օպտիմալության հիմնարար հավասարում: Վերոնշյալի հաշվառմամբ հավասարման աջ կողմի առաջին մասը ներդրումից ստացվող անհապաղ եկամուտն է, իսկ երկրորդը՝ պարբերական արժեքը: Տվյալ փուլի համար օպտիմալ գործողությունը (գումարն առավելագույնի հասցնելը) այս երկու բաղադրիչների գումարի առավել արկումն է:

Երկփուլ մոդելի դեպքում անհապաղ ներդրումը տալիս է $(V_0 - z)$ արդյունք և $\frac{E_0[F_1]}{(1+r)}$ դիսկոնտավորված պարբերական արժեք, որտեղ այս այլ ընտրանքների միջև օպտիմալ բինար

ընտրությունը երկուսից ամենամեծն է: Այսպիսով՝ (2.3.7) հավասարումը (2.3.10)-ով ներկայացված Բելմանի ընդհանուր հավասարման հատուկ դեպքն է:

2.4. Ներդրումների երկփուլ մոդելը մեծ անորոշությամբ պայմաններում

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը պետք է որոշում կայացնի կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վերաբերյալ: Ներդրման արժեքը (ծախսը) նշանակենք (z) -ով: Ենթադրենք, թե առաջին փուլում անորոշությունն չկա [60], և կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումից ստացված եկամուտը B_0 է, իսկ երկրորդ փուլում անորոշությունն կա, B_1 -ով նշանակենք երկրորդ փուլում ստացվող եկամուտը, որը աճի դեպքում կլինի B_w , իսկ նվազման դեպքում՝ B_d [63, 99]:

Դիցուք $(B_d < z < B_w)$, և կազմակերպությունն ունի հնարավորություն ներդրում կատարելու կա՛մ առաջին, կա՛մ երկրորդ փուլում: q_w -ով նշանակենք երկրորդ փուլում եկամուտի աճի հավանականությունը, իսկ r -ով՝ տոկոսադրույքը: Առաջին փուլում ներդրում կատարելու դեպքում կազմակերպության սպասվելիք դիսկոնտավորված եկամուտի հոսքը կլինի՝

$$(B_0 - z) + \frac{1}{1+r}(q_w B_w + (1 - q_w) B_d), \quad (2.4.1)$$

մինչդեռ ներդրումը մինչև երկրորդ փուլ հետաձգելու դեպքում սպասվելիք դիսկոնտավորված եկամուտի հոսքը կլինի՝

$$\frac{q_w}{1+r}(B_w - z): \quad (2.4.2)$$

Քանի որ երկրորդ փուլում ստացվող եկամուտը աճի դեպքում $(B_w - z)$ է, իսկ նվազման դեպքում՝ 0, ապա կազմակերպությունը ամենայն հավանականությամբ եկամուտի նվազման դեպքում չի ցանկանա ներդրում կատարել, քանի որ տեղի ունի $B_d < z$ պայմանը: Այս դեպքում կազմակերպությունը ներդրում կատարելու

օպտիմալ ժամանակը որոշելու համար կհամեմատի (2.4.1) և (2.4.2) արտահայտությունները:

$$\begin{aligned} (B_0 - z) + \frac{1}{1+r}(q_u B_u + (1 - q_u) B_d) - \frac{q_u}{1+r}(B_u - z) = \\ = B_0 - \left(1 - \frac{q_u}{1+r}\right)z + \frac{1}{1+r}(1 - q_u)B_d \leq 0: \end{aligned} \quad (2.4.3)$$

Եթե այս բանաձևը ճիշտ է, ապա ևս ավագույն ռազմավարությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու հետաձգումն է: Հակառակ դեպքում պետք էր ներդրում կատարել առաջին փուլում: Այսինքն, եթե (2.4.3) բանաձևը ճիշտ է, ապա առաջին փուլում կատարվող ներդրման արժեքը կստանանք (2.4.2) բանաձևով, հակառակ դեպքում՝ (2.4.3) բանաձևով:

Այնուամենայնիվ, իրականում քիչ հավանական է, որ կազմակերպությունը ներդրում կատարելու որոշում կայացնելիս միանգամայն վստահ լինի, որ եկամուտը կաճի: Կազմակերպությունը կարող է մտածել, որ եկամուտը կարող է աճել տարբեր հավանականություններով (q_u , q'_u և այլն), սակայն չի կարող վստահ լինել, որ կաճի որևէ կոնկրետ հավանականությամբ: Այսպիսով, կազմակերպությունը եկամտի աճի որևէ կոնկրետ հավանականության փոխարեն կարող է ունենալ հավանականությունների բազմություն [63, 99]: Ընդ որում, կազմակերպությունը չի կարող վստահ լինել նաև աճի հավանականությունների հարաբերական ճշգրտության մեջ: Հավանականությունների բաշխման այսպիսի բազմազանությունը կոչվում է մեծ (բարձր մակարդակի) կամ նայթյան անորոշություն [90]:

Ք-ով նշանակենք եկամտի աճի այն հավանականությունների հոծ բազմությունը, որը կազմակերպությունը համարում է հնարավոր: Հայտնի է այն տեսակետը, որ բազմակի հավանականությունների առկայության դեպքում կազմակերպության վարքագիծը կարելի է բնորոշել որպես անորոշությունից խուսափող [90]: Ուստի կազմակերպությունը ներդրում կատարելու որոշում կայացնելիս հիմնականում ընտրում է վատագույն տարբերակի

հավանականությունը, ըստ որի, (2.4.1) բանաձևն անհրաժեշտ է փոխարինել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\begin{aligned} (B_0 - z) + \frac{1}{1+r} \left(\min_{q_u \in P} (q_u B_u + (1 - q_u) B_d) \right) = \\ = (B_0 - z) + \frac{1}{1+r} \left(B_d + \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (B_u - B_d) \right) : \end{aligned} \quad (2.4.4)$$

Քանի որ $B_d < B_u$, (2.4.2) բանաձևը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$\frac{1}{1+r} \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (B_u - z) = \frac{1}{1+r} \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (B_u - z) : \quad (2.4.5)$$

Քանի որ $B_u > z$, ապա առաջին փուլում ներդրում կատարելու հետաձգման չափանիշը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} (B_0 - z) + \frac{1}{1+r} \left(B_d + \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (B_u - B_d) \right) - \\ - \frac{1}{1+r} \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (B_u - z) = (B_0 - z) + \\ + \frac{B_d}{1+r} + \frac{1}{1+r} \left(\min_{q_u \in P} q_u \right) (z - B_d) < 0 \end{aligned} \quad (2.4.6)$$

Այժմ քննարկենք ռիսկի և անորոշության աճի առանձին դեպքեր:

Դիցուք $q_u = \frac{1}{2}$ և $P = [(\frac{1}{2} - \varepsilon), (\frac{1}{2} + \varepsilon)]$, որտեղ $\varepsilon \in (0, \frac{1}{2})$ իրական թիվ է և ցույց է տալիս անորոշության աստիճանը: Այսինքն՝ ε -ի աճը կարող է համարվել մեծ անորոշության աճ:

Մյուս կողմից՝ ռիսկի աճը բնորոշվում է երկրորդ փուլի եկամտի B_1 միջինացված արժեքի պահպանմամբ: Այս դեպքում ենթադրենք, որ անորոշությունն չկա, իսկ ռիսկն աճում է այնպես, որ (B_d, B_u) -ն այժմ տարածվում է $(B_d - \gamma, B_u + \gamma)$ -ի նմանությամբ: (2.4.2) բանաձևից պարզ է դառնում, որ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու հետաձգման դեպքում եկամտի միջինացված արժեքի պահպանումը միշտ մեծացնում է կիբեռանվտանգության ներդրման արժեքը: Դա բացատրվում է այն հանգամանքով, որ ռիսկի աճը ենթադրում է, որ կազմակերպությունը կարող է սպասել և ներդրում կատարել իր համար ավելի ձեռնտու պահի: Նշենք նաև, որ այս դեպքում

կիբեռանվտանգության համար կատարվող ներդրման արժեքը առաջին փուլում կմնա նույնը (բանաձև (2.4.1)): Հետևաբար՝ կիբեռանվտանգության վրա կատարվող ներդրման արժեքը կաճի ռիսկի աճին համեմատ:

Այժմ ենթադրենք, թե կամեծ անորոշություն: Այս դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվելիք ներդրման արժեքը կորոշվի՝ առաջին փուլում ըստ (2.4.4), իսկ երկրորդ փուլում՝ (2.4.5) բանաձևի: Ենթադրենք նաև, որ մեծ անորոշությունը աճում է ε -ի աճին գուցենթաց: Նույն տրամաբանությամբ (2.4.4) և (2.4.5) բանաձևերից պարզ է դառնում, որ ε -ի աճը միշտ նվազեցնում է առաջին և երկրորդ փուլերում կիբեռանվտանգության վրա կատարվող ներդրման արժեքը, ինչը վկայում է, որ մեծ անորոշության աճի դեպքում կիբեռանվտանգության համար կատարվող ներդրման արժեքը նվազում է [99]:

Վերը նշվածի համաձայն՝ (բանաձևեր (2.4.4) և (2.4.5)) ստացվում է, որ առաջին փուլում կատարվող ներդրման արժեքն ավելի շատ է, քան երկրորդ փուլում, ինչը նշանակում է, որ կազմակերպությունը մեծ հավանականությամբ նորից կհետաձգի կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվելիք ներդրումը: Դա պարզորոշ երևում է նաև (2.4.6) բանաձևից, որի ձախ կողմն արտահայտում է ε -ի աճմամբ պայմանավորված նվազումը և հեշտությամբ բավարարում է ներդրումը հետաձգելու չափանիշին: Մյուս կողմից՝ մեծ անորոշության աճը նվազեցնում է առաջին և երկրորդ փուլերում կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրման արժեքը: Սակայն առաջին փուլում ներդրման արժեքը նվազում է ավելի մեծ չափով, քան երկրորդում կատարվելու դեպքում, քանի որ ներդրման արժեքը երկրորդ փուլում կախված է ոչ միայն ներդրումից ստացվող, այլ և ներդրում չկատարելու դեպքում ստացվող եկամուտից: Հարկ է նշել, որ ներդրում չկատարելու դեպքում ստացվող եկամուտը կախված չէ երկրորդ փուլի ներդրման արժեքից: Հետևաբար, քանի որ ներդրման արժեքը առաջին փուլում ավելի շատ է նվազում, քան երկրորդ փուլում, ապա կազմակերպության սպասելը գնահատվում է որպես ավելի շահավետ [99]:

Վերը շարադրվածից պարզ է դառնում, որ երկրորդ փուլում մեծ անորոշության և ռիսկի աճերը հակառակ ազդեցությունն են դրման արժեքի վրա, թեև դրանք միևնույն ազդեցությունն են գործում ներդրման ժամկետային ընտրության վրա:

Եզրակացություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ

- 1) Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդրի «ներդրում-անորոշություն» փոխկապվածության մոդելը: Հետազոտվել է ներդրումային խնդրի ոչ մոնոտոնությունն ու բարդությունը, ինչպես նաև անորոշության ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վարքագծի վրա: Բրոունյան և շոկեբրոունյան շարժումների հիման վրա մշակվել են կիբեռասպառնալիքների մոդելները բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում:
- 2) Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը: Արվել է եզրակացություն «սպասենք-տեսնենք» ռազմավարության կիրառման նպատակահարմարության վերաբերյալ: Տրվել է երկփուլ մոդելի ընդհանրացումը բազմափուլության և անընդհատության համատեքստում: Ցույց է տրվել կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդիրների լուծման տարանջատման գաղափարը, որը հիմնված է Բելմանի օպտիմալության սկզբունքի վրա: Առաջարկվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում:

3.1. Օպտիմալ ներդրումների մոդել ավորումը իրական օպցիոնների միջոցով

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը հակված է կիրառել կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու օպցիոն [100, 101]: Նշենք, որ տվյալ դեպքում դիտարկվում է անընդհատ ժամանակով տիրույթ ($t \geq 0$): T -ն նախագծի ավարտի ժամկետն է, իսկ յուրաքանչյուր t -ի համար հասանելի տեղեկությունը ներկայացվում է $(\Omega, \mathcal{F}_t, (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ աճող զտված (\$ֆիլտրված) հավանականային բազմությամբ: Տվյալ դեպքում կազմակերպության (որոշում կայացնողի) դիրքորոշումը ռիսկի նկատմամբ չեզոք է, իսկ ծախսերն ու եկամուտները դիսկոնտավորվում են ($\rho > 0$) գործակցով [29]:

Վերը նշվածի հաշվառմամբ մեծ (պարծր մակարդակի) անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ սկզբնաժամկետով ներդրումային դինամիկական որոշում կայացնելու համար ընդլայնենք Գորդոն-Լոբերի [11, 6, 102] և Տացումի-Գոտոյի [13] մոդելները: Նախ ընդունենք, որ ξ_t սպառնալիքը դրսևորվում է շոկեբրոունյան շարժման նմանությամբ.

$$d\xi_t = (\mu + m\sigma)\xi_t dt + s\sigma\xi_t d\omega_t : \quad (3.1.1)$$

Նշենք, որ (3.1.1) հավասարումը ($m = 0$) և ($s = 1$) պայմանների դեպքում [89, 82]-ում դիտարկված երկրաչափական բրոունյան շարժման հատուկ դեպքն է:

Այժմ ենթադրենք, որ կազմակերպությունը (որոշում կայացնողը) մեծ անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու համար կիրառում է z ներդրվող գումարով իրական օպցիոն: Ենթադրենք նաև, որ մեծ անորոշությունն ազդում է օպցիոնի իրականացման

արդյունքում ստացված եկամուտի վրա՝ $(\pi_s)_{s \geq t} = (v - S(z - v))\lambda \xi_t$ և, որ վիճակի փոփոխականը դրսևորվում է շոկերի ունյան շարժման նմանությամբ: Այս դեպքում ներդրման W_t արժեքը t ժամանակում և նախագծի ավարտի T ժամանակով օպցիոնի իրականացման դեպքում հավասար կլինի E^P սպասվող արժեքին, որը պայմանավորված է հավանականային P չափման նկատմամբ դիսկոնտավորված եկամուտի հոսքերի նախապես սահմանված $\mathcal{F}_t$ ֆիլտրացիայով [63, 103, 29].

$$\begin{aligned} W(\pi_t, t) &= E^P \left[\int_t^T e^{-\rho(s-t)} (v - S(z - v)) \lambda \xi_s ds / \mathcal{F}_t \right] = \\ &= E^P \left[\int_t^T e^{-\rho(s-t)} \pi_s ds / \mathcal{F}_t \right] : \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

Այս համառոտացում կազմակերպությունը պետք է որոշի կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող նախագծում ներդրման օպցիոնի իրականացնելու օպտիմալ պահը՝ $t', t' \in [t, T]$, որի համար տվյալ դեպքում կիրառվում է պատահական դինամիկական ծրագրավորումը [43, 104, 105]: Այս պայմաններում ենթադրենք, որ տեղեկատվական համակարգի v խոցելիությունն և կիբեռանվտանգության խախտումներից առաջացած դրամական կորուստները կախված չեն ժամանակից, իսկ կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումը t' ժամանակում կատարվում է միայն մեկ անգամ: Ստացվում է, որ $S(z, v)$ -ն նույնպես ժամանակից կախված չէ: Յետևաբար, ξ_t -ն և π_t -ն նկարագրվում են (3.1.1) հավասարմամբ ներկայացված պատահական դիֆերենցիալ հավասարումով.

$$d\pi_t = (\mu + m\sigma)\pi_t dt + s\sigma\pi_t d\omega_t : \quad (3.1.3)$$

Այս դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող նախագծի համար դեռևս չիրականացված ներդրման օպցիոնը t ժամանակում կարտահայտվի հետևյալ ձևով.

$$V_t = \max_{t' \in [t, T]} E^P \left[\int_{t'}^T e^{-\rho(s-t)} \pi_s ds - e^{-\rho(t'-t)} z / \mathcal{F}_t \right] : \quad (3.1.4)$$

Երբ ներդրումային նախագծի ավարտը ֆիքսված է (նախագիծն անվերջ է), հաշվարկներն ավելի հեշտ է կատարել, և հնարավոր է դիտարկել հետևյալ հաստատուն մոդելը [29, 63, 65, 106].

$$W(\pi_t, t) = \int_t^T \pi_s \exp(-(\rho - \mu)(s - t)) ds = \frac{\pi_t}{\rho - \mu} (1 - e^{-(\rho - \mu)(T - t)}) : \quad (3.1.5)$$

Անվերջության վարկածի դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի արժեքն անվերջ եկամուտներից սպասվող ստանդարտ արժեքն է, որը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ [63].

$$W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - \mu} : \quad (3.1.6)$$

Մեծ անորոշության բացակայության դեպքում (3.1.6) հավասարման համար կիրառելով Իտոյի լեմմա՝ կստանանք հետևյալ հավասարումը.

$$dW_t = \mu W_t dt + \sigma W_t d\omega_t : \quad (3.1.7)$$

Հարկ է նշել, որ շոկեբրոունյան մեծ անորոշությունը մաքսիմին (maximin) անորոշությունից տարբերվում է նրանով, որ շոկեբրոունյան խոր անորոշության դեպքում μ -ի և σ -ի փոխարեն համապատասխանաբար կունենանք $\mu + m\sigma$ և $s\sigma$, ուստի (3.1.7) հավասարումը կարող ենք ներկայացնել հետևյալ կերպ.

$$dW_t = (\mu + m\sigma) W_t dt + s\sigma W_t d\omega_t , \quad (3.1.8)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ խոր անորոշության պայմաններում (3.1.6) հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - (\mu + m\sigma)} : \quad (3.1.9)$$

Անվերջության վարկածի համաձայն՝ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու օպցիոնի V_t արժեքը կախված է միայն W_t -ից, ուստի այն կարելի է ստանալ հետևյալ պատահական դինամիկական ծրագրավորման խնդրի լուծման միջոցով [90].

$$V(W_t) = \max_{z \in R} \{W_t - z, E^P[dV_t | \mathcal{F}_t] + V(W_t) - \rho V(W_t) dt\} : \quad (3.1.10)$$

Այժմ սահմանենք կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումների առանձնահատկությունները: Նախ սահմանենք W^* միակ կրիտիկական արժեքը, որի դեպքում օպցիոնը իրականացվում է միայն ու միայն այն դեպքում, երբ $W_t \geq W^*$, հակառակ դեպքում՝

օպցիոնը շարունակվում է՝ սահմանելով անընդհատ ռեգիոն (continuation region), որտեղ $W_t < W^*$: (3.1.10) հավասարման աջ մասում առաջին արտահայտությունը՝ $(W_t - z)$ -ը, ժամանակի տվյալ պահին ներդրումային օպցիոնի իրականացման արժեքն է, իսկ երկրորդը՝ սպասման արժեքը: Նշենք նաև, որ (3.1.10) հավասարման աջ մասի երկու արտահայտությունն էլ անընդհատ ռեգիոնում պետք է հավասար լինեն [29, 107]: Ուստի՝

$$E^P[dV_t | \mathcal{F}_t] = \rho V(W_t) dt : \quad (3.1.11)$$

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ V -ն անընդհատ ռեգիոնում կրկնակի ածանցելի է և $V' > 0$, $dV(W_t)$ -ի ընդլայնման համար Իտոյի լեմմի կիրառմամբ միավորելով (3.1.8) և (3.1.11) հավասարումները՝ յուրաքանչյուր dt -ի համար կստանանք.

$$\begin{aligned} dV_t &= V'(W_t)((\mu + m\sigma)W_t dt + s\sigma W_t d\omega_t) + \\ &+ \frac{1}{2}(s\sigma)^2 W_t^2 V''(W_t) dt : \end{aligned} \quad (3.1.12)$$

Նշված հավասարումից բխում է հետևյալ երկրորդ կարգի սովորական դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\frac{1}{2}(s\sigma)^2 W_t^2 V''(W_t) + (\mu + m\sigma)W_t V'(W_t) - \rho V(W_t) = 0 : \quad (3.1.13)$$

Քանի որ W^* -ը օպցիոնի իրականացման կրիտիկական արժեքն է, ուստի վերը նշված հավասարման լուծման համար դիտարկենք հետևյալ ստանդարտ սահմանային պայմանները [8].

$$\begin{cases} V(W^*) = W^* - z \end{cases} \quad (3.1.14)$$

$$\begin{cases} V'(W^*) = 1 \end{cases} : \quad (3.1.15)$$

$$\begin{cases} V(0) = 0 \end{cases} \quad (3.1.16)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ $V(W_t)$ և W^* արժեքները անընդհատ ռեգիոնում կարելի է ստանալ հետևյալ կերպ.

$$\begin{cases} V(W_t) = \left(\frac{z}{\alpha - 1}\right)^{1-\alpha} \alpha^{-\alpha} W_t^\alpha, & W_t < W^* \end{cases} \quad (3.1.17)$$

$$\begin{cases} W^* = \frac{\alpha}{\alpha - 1} z \end{cases} \quad (3.1.18)$$

իսկ օպցիոնի իրականացման ռեզիոնում՝

$$V(W_t) = W_t - z, \quad W_t \geq W^* : \quad (3.1.19)$$

Նշենք նաև, որ α -ն հաստատուն է, որի արժեքը կախված է μ, ρ, σ, c պարամետրերից:

$$\alpha = \frac{-\left((\mu + m\sigma) - \frac{1}{2}(s\sigma)^2\right) + \sqrt{\left\{(\mu + m\sigma) - \frac{1}{2}(s\sigma)^2\right\}^2 + 2\rho(s\sigma)^2}}{(s\sigma)^2}, \quad (3.1.20)$$

որտեղ ($m = 2c - 1$) և ($s^2 = 4c(1 - c)$):

Վերը նշվածի հաշվառմամբ դիտարկենք ռիսկերի և մեծ անորոշության ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծերի վրա (զգայունության վերլուծություն):

Ռիսկի ազդեցությունը ներդրումային նախագծի վրա
 Դիտարկենք այն դեպքը, երբ շոկեբրոունյան անորոշության պայմաններում մեծ անորոշությունն աճում է, այսինքն՝ տեղի է ունենում շեղում ($c = 1/2$) չեզոքության պայմանից, ըստ որի՝ Ψ -ն մեծ անորոշության աստիճանն է (Ψ անորոշություն), որը նման է բազմակի նախապատվությունների մոդելի k գործակցին (k անորոշություն): Այս առումով, քանի որ Ψ -ն կախված է c պարամետրից, ($c = 1/2$)-ի դեպքում կստանանք ($\Psi = 0$), որը մեծ անորոշության բացակայության հատուկ դեպքն է: Այսպիսով, ստացվում է ($c = 1/2$) և $\Psi = \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$, հետևաբար, երբ որոշում կայացնողը բացասաբար է տրամադրված մեծ անորոշության նկատմամբ, ապա կստանանք ($c < \frac{1}{2}, \Psi > 0$) արդյունքը [29, 108]:

Նշվածի հաշվառմամբ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի արժեքի և ժամանակի օպտիմալ կառավարման վրա ռիսկերի ազդեցությունը դիտարկելու համար ռիսկը նշագրենք σ^2 -ով: Այս դեպքում մեծ անորոշությունն բացակայության և ռիսկի նկատմամբ որոշում կայացնողի

ուսեցած չեզոք դիրքորոշման պայմաններում կստանանք ($m = 2c - 1 = 0$), ըստ այդմ՝ $W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - \mu}$, ինչը նշանակում է, որ ռիսկի փոփոխությունը չի փոխում նախագծի արժեքը ընդհատման շրջանում: Հետևաբար ռիսկի ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ուղորդում ներդրումային նախագծի վրա մոդելավորելու համար կօգտագործենք (3.1.21), (3.1.22) և (3.1.23)-ը:

$$W(\pi_t, t) = \int_t^T \pi_t \exp(-(\rho - \mu)(s - t)) ds = \frac{\pi_t}{\rho - \mu} (1 - e^{-(\rho - \mu)(T - t)}), \quad (3.1.21)$$

$$W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - \mu}, \quad (3.1.22)$$

$$W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - (\mu + m\sigma)} : \quad (3.1.23)$$

Այժմ դիտարկենք ռիսկի ազդեցությունը անընդհատ ռեգիոնի և պահուստային (ռեզերվային) արժեքի փոփոխության վրա: Անընդհատ ռեգիոնում օպցիոնի արժեքը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$V(W_t) = \left(\frac{z}{\alpha - 1}\right)^{1-\alpha} \alpha^{-\alpha} W_t^\alpha, \quad W_t < W^* : \quad (3.1.24)$$

Տվյալ դեպքում σ^2 պարամետրը α -ի հաշվարկման համար կարևոր նշանակություն ունի:

$$\alpha = \frac{-\left((\mu + m\sigma) - \frac{1}{2}(s\sigma)^2\right) + \sqrt{\left\{(\mu + m\sigma) - \frac{1}{2}(s\sigma)^2\right\}^2 + 2\rho(s\sigma)^2}}{(s\sigma)^2} : \quad (3.1.25)$$

Այս դեպքում ռիսկի փոփոխությունը ազդում է նախագծի արժեքի վրա անընդհատ ռեգիոնում, իսկ ռիսկի աճի ազդեցության որոշարկումը կախված է ստորև ներկայացված ածանցյալների նշանից [89, 63].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \alpha}{\partial \sigma^2} < 0, \\ \frac{\partial V(W_t)}{\partial \alpha} < 0 : \end{array} \right. \quad (3.1.26)$$

Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ $\frac{\partial V(W_t^*)}{\partial \sigma^2} > 0$, հետևաբար ռիսկի աճը մեծացնում է կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող նախագծի արժեքը անընդհատ ռեգիոնում, իսկ σ^2 պարամետրն ունի նույն ազդեցությունը ստորև ներկայացված պահուստային արժեքի վրա.

$$W^* = \frac{\alpha}{\alpha - 1} z : \quad (3.1.27)$$

Անընդհատ ռեգիոնի նման ռիսկի աճի ազդեցությունը կախված է ստորև ներկայացված ածանցյալների նշանից [89, 63].

$$\begin{cases} \frac{\partial W^*}{\partial \alpha} < 0, \\ \frac{\partial W^*}{\partial \sigma^2} < 0, \end{cases} \quad (3.1.28)$$

ուստի՝ $\frac{\partial W^*}{\partial \sigma^2} > 0$, ինչը նշանակում է, որ ռիսկի աճը մեծացնում է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի պահուստային արժեքը, որը հնարավորություն է տալիս կապ հաստատել ու պահուստային արժեքի փոփոխության և օպցիոնի իրականացման ժամանակի միջև: Ըստ այդմ, ξ^* կիբեռսպառնալիքի հաշվառմամբ (3.1.23-ով ներկայացնենք W^* պահուստային արժեքը հետևյալ տեսքով [29, 108].

$$W^* = \frac{\pi^*}{\rho - (\mu + m\sigma)} = \frac{(v - S(z - v))\lambda \xi^*}{\rho - (\mu + m\sigma)} : \quad (3.1.29)$$

Տվյալ դեպքում, երբ $\xi < \xi^*$, $W_t < W^*$, ուստի (3.1.28) հավասարումից կստանանք.

$$\xi^* = \frac{W^*(\rho - (\mu + m\sigma))}{(v - S(z - v))\lambda} . \quad (3.1.30)$$

Քանի որ Գորդոն-Լոբի մոդելում [11, 6, 102] $(v - S(z - v))\lambda$ -ը ժամանակից անկախ է, ապա կարելի է եզրակացնել, որ $\xi > \xi^*$ պայմանին սպասելը օպտիմալ ներդրումային ռազմավարությունն է, որը ճիշտ է, երբ տեղի ունի (3.1.31) պայմանը:

$$(\rho - (\mu + m\sigma)) > 0 : \quad (3.1.31)$$

Սրանից բխում է, որ մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում ռիսկի աճը հանգեցնում է կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող ներդրումային նախագծի արժեքի մեծացմանը W_t անընդհատ ռեգիոնում և W^* պահուստային արժեքում՝ չփոխելով նախագծի արժեքը օպիոնի իրականացման դեպքում:

Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ մեծ անորոշությունը շոկեբրոուսյան շարժումների միջոցով ընդունում է շոկեբրոուսյան աղավաղիչ (distortion) տեսքը: Այս պայմաններում, երբ σ^2 -ը աճում է, գուգընթացաբար աճում է նաև $(\mu + m\sigma)$ -ը, միայն ու միայն այն դեպքում, երբ $(m > 0)$, այսինքն՝ երբ $c > \frac{1}{2}$ և $\Psi < 0$, քանի որ

$$\left(\Psi = \frac{1}{2} - c\right): \quad \text{Դա իր հերթին նպաստում է, որ } W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - (\mu + m\sigma)}$$

արտահայտությունը նույնպես աճի: Ըստ այդմ, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի դրական դիրքորոշում, կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող ներդրումային նախագծի արժեքը ընդհատման ռեգիոնում (stopping region) նույնպես աճում է ռիսկի աճին գուգընթաց: Համանման կերպով, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական դիրքորոշում, կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի արժեքը ընդհատման ռեգիոնում նվազում է, ինչը նշանակում է, որ $c < \frac{1}{2}$:

Հարկ է նշել նաև, որ բազմակի նախապատվությունների դեպքում, երբ $(k > 0)$, մեծ անորոշության առկայության պայմաններում ռիսկի աճը հանգեցնում է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի արժեքի նվազմանը, քանի որ տեղի ունի $W_t = \frac{\pi_t}{\rho - (\mu + m\sigma)}$ արտահայտությունը, որը շոկեբրոուսյան շարժման մոդելի հատուկ դեպքն է:

Այսպիսով՝ մեծ անորոշության առկայությունը բավարար է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային նախագծի

արժեքի վրա ռիսկի ազդեցությունը դիտարկելու համար, ինչը տեղի չի ունենում մեծ անորոշության բացակայության ստանդարտ դեպքում: Շատ կարևոր է այն հանգամանքը, որ ռիսկի միևնույն փոփոխությունը մեծ անորոշության նկատմամբ տարբեր դիրքորոշումներ ունեցող որոշում կայացնողների կողմից գնահատման տեսանկյունից կհանգեցնի կտրուկ հետևանքների: Ուստի մեծ անորոշության առկայության պայմաններում, կախած մեծ անորոշության նկատմամբ որոշում կայացնողի դիրքորոշումից, ռիսկի փոփոխությունն ազդում է նախագծի արժեքի վրա ընդհատման ռեգիոնում: Օպիոնի իրականացման դեպքում ռիսկի աճը նպաստում է ներդրումային նախագծի արժեքի մեծացմանը այն ու միայն այն դեպքում, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի դրական վերաբերմունք, այսինքն՝ $(c > \frac{1}{2})$: Հակառակը ճիշտ է այն դեպքում, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական վերաբերմունք, այսինքն՝ $(c < \frac{1}{2})$:

Մեծ անորոշության ազդեցությունը ներդրումային նախագծի վրա Տվյալ խնդրին անդրադառնալու համար նախ ընդունենք, որ շուկեբրոուսյան մեծ անորոշության առկայության դեպքում μ -ն փոխարինվում է $(\mu + m\sigma)$ -ով այնպես, որ.

$$W(\pi_t) = \frac{\pi_t}{\rho - (\mu + m\sigma)} : \quad (3.1.32)$$

Այժմ որոշարկենք Ψ անորոշության ազդեցությունը ընդհատման ռեգիոնում՝ $W_T \geq W^*$: Մեծ անորոշության պայմաններում ռիսկի փոփոխության նման, այս դեպքում էլ ազդեցությունը կախած է մեծ անորոշության նկատմամբ որոշում կայացնողի վերաբերմունքից: Այսինքն, երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական վերաբերմունք՝ $(c < \frac{1}{2})$, Ψ -ի փոփոխությունը սեղմում է c -ի $]0, \frac{1}{2}[$ միջակայքը, ինչը հանգեցնում է $(\mu + m\sigma)$ -ի նվազմանը, քանի որ $(m = 2c - 1 < 0)$: Արդյունքում ընդհատման ռեգիոնում նախագծի W արժեքը փոքրանում է: Իսկ երբ որոշում կայացնողը մեծ

անորոշության նկատմամբ ունի դրական վերաբերմունք՝ $(c > \frac{1}{2})$, Ψ -ի փոփոխությունը ընդլայնում է c -ի $]\frac{1}{2}, 1[$ միջակայքը, ինչը հանգեցնում է $(\mu + m\sigma)$ -ի աճին, քանի որ $(m = 2c - 1 > 0)$: Արդյունքում ընդհատման ռեգիոնում նախագծի W արժեքը մեծանում է:

Վերը նշվածը բազմակի նախապատվությունների մոդելի ընդհանրացումն է, որում k անորոշության աճը միշտ հանգեցնում է նախագծի արժեքի նվազմանը:

Նշված ածանցյալների հաշվարկները տրիվիալ չեն, իսկ դրանց պարզեցմամբ չենք կարող ստանալ անալիտիկ լուծումներ: Ըստ այդմ, μ , σ և ρ պարամետրերով ստացվում է, որ երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական վերաբերմունք, այսինքն՝ $\Psi > 0$, ապա մեծ անորոշության աճը հանգեցնում է նախագծի արժեքի նվազմանը անընդհատ ռեգիոնում: Իսկ երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի դրական վերաբերմունք, այսինքն՝ $\Psi < 0$, ապա մեծ անորոշության աճը կհանգեցնի նախագծի արժեքի մեծացմանը անընդհատ ռեգիոնում: Նշենք նաև, որ α -ի աճի դեպքում՝ $\alpha > 1$, ապա նշենք նաև, որ α -ի աճման դեպքում՝ $\alpha > 1$, պահուստային արժեքում $\frac{\alpha}{\alpha-1}$ -ը նվազում է [29].

$$W^* = \frac{\alpha}{\alpha - 1} z, \quad (3.1.33)$$

ինչը նշանակում է, որ պահուստային արժեքը փոքրանում է՝ դրանով արագացնելով օպցիոնի իրականացման ժամանակը:

Այսպիսով, մեծ անորոշության փոփոխությունն ազդում է կիբեռանվտանգության ոլորտում իրագործվող ներդրումային նախագծի արժեքի և պահուստային արժեքի վրա՝ այդ ձևով շուկեբրոուսյան շարժումների միջոցով ազդելով նաև իրական օպցիոնի իրականացման ժամանակի վրա: Երբ որոշում կայացնողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական վերաբերմունք, մեծ անորոշության աճը օպցիոնի իրականացման դեպքում անընդհատ ռեգիոնում հանգեցնում է նախագծի ավելի փոքր արժեքի՝ նպաստելով օպցիոնի ավելի շուտ իրականացմանը:

Հակառակը ճիշտ է, երբ որոշում կայացնողն ունի դրական վերաբերմունք մեծ անորոշության նկատմամբ:

3.2. Մոդել այ ին 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 $\tilde{P}$ բազմություն [92, 109, 110]: Այս պարագայում $\tilde{P}$ բազմությունը P օբյեկտիվ հավանականության նկատմամբ սահմանենք որպես փոխադարձաբար բացարձակ անընդհատ (mutually absolutely continuous): Տվյալ բազմությունը կարելի է սահմանել նաև այսպես կոչված $\Theta = (\Theta_t)$ խտության գեներատորի (density generator) միջոցով, որը պատահական 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 պատահական միջակայքով [90]: $\tilde{P}$ բազմության այս սահմանումը P օբյեկտիվ հավանականության շուրջ ձևավորում է հաստատուն մեծ անորոշության միջակայք՝ դրանով արագացնելով դինամիկ լավարկային խնդիրների անալիտիկ լուծումները [111]: Հարկ է նշել, որ $\tilde{P}$ -ն ուղղանկյունային է և անհրաժեշտ պայման՝ միջժամանակային լավարկային խնդիրների դինամիկ կայունությունն ապահովելու համար [109]:

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

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t, \quad (3.2.1)$$

որտեղ μ շեղման պարամետրը և պրոցեսի σ փոփոխելիությունը իրական թվեր են: Ենթադրենք նաև, որ $\sigma \geq 0$ ՝ ընդանրությունը չկորցնելու և $\sigma \neq 0$ դետերմինիստական դեպքը բացառելու համար:

Բանաձև (3.2.1)-ում w_t -ն P հավանականության նկատմամբ բրոուների շարժում է, քանի որ.

$$dw_t^\theta = dw_t + \theta_t dt : \quad (3.2.2)$$

Հետևաբար Գիրսանովի թեորեմի համաձայն [82, 91]՝ ցանկացած $(\theta \in \Theta)$ -ի համար գործում է.

$$d\xi_t = (\mu - \sigma\theta_t)\xi_t dt + \sigma\xi_t dw_t^\theta : \quad (3.2.3)$$

Նշվածի համաձայն՝ Q^θ -ի խորքային (underlying) հավանականությունը լինելու դեպքում ξ_t -ն նաև (3.2.3) պատահական դիֆերենցիալ հավասարման լուծումն է, քանի որ այս դեպքում, Գիրսանովի թեորեմի համաձայն՝ w_t^θ -ն Բրոուների շարժում է Q^θ -ի նկատմամբ: Հարկ է նշել, որ գոյություն ունի միայն մեկ ξ_t պատահական պրոցես, որն ունի պատահական դիֆերենցիալ հավասարումների շատ դրսևորումներ: Դրանցից են (3.2.1) և (3.2.3) հավասարումները, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանում է $(\theta \in \Theta)$ -ին: Այստեղից երևում է, որ $\tilde{P}$ բազմության դիտարկված բոլոր պատահական հավասարումները միմյանցից տարբերվում են միայն շեղման գործակցով, որը K միջակայքին համապատասխան կարող է տարբեր լինել:

Դիցուք $(\theta \in \Theta)$, հետևաբար, (3.2.3) հավասարման և ξ_t -ի լոգարիթմի նկատմամբ Իտոյի լեմմի կիրառման միջոցով [63] Q^θ -ի համար կստանանք.

$$\xi_t = \xi_0 \exp \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t - \sigma \int_0^t \theta_s ds + \sigma w_t^\theta \right), (\forall t \geq 0) : \quad (3.2.4)$$

(3.2.4) հավասարումից պարզ երևում է, որ ξ միակ պատահական 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 նախապատվության համակցությունը [111]: Այս համատեքստում որոշում կայացնողի տեսանկյունից, մի դեպքում դիտարկվում է անորոշությունից խուսափողի ռամավարությունը՝ վատագույն հավանականային բաշխման օրինակով [38], մյուս դեպքում՝ անորոշությունը համակրողի ռամավարությունը՝ լավագույն հավանականային բաշխման օրինակով: Որոշումները կայացնելիս վատագույն և լավագույն դեպքերի դիտարկման վերաբերյալ նախապատվությունների այսպիսի համակցությունն անվանվում է նաև *Հարվիցի չափանիշ* [110]:

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 սպասվող արժեքը, որը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$E^\alpha[f(x)] = \alpha \sup_{P \in \mathcal{P}} E^P[f(x)] + (1 - \alpha) \inf_{P \in \mathcal{P}} E^P[f(x)], \quad (3.2.5)$$

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

3.3. Օպիմալ ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում

Կիբեռանվտանգության ապահովման համար $\pm$ ժամանակից հետո միանգամյա (ամբողջական) ներդրումից ստացված եկամուտի f ֆունկցիան ներկայացնենք ապագա եկամուտների ընթացիկ արժեքի հաշվառմամբ [112].

$$f(\pi_t) = \int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} \pi_s ds, \quad (3.3.1)$$

$$\pi_t = (v - S(z, v)) \lambda \xi_t, \quad (3.3.2)$$

որտեղ π_t -ն ներդրումից սպասվող եկամուտն է, այսինքն՝ ներդրումից հետո սպասվող 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 խոցելիությունը, իսկ ρ -ն՝ անընդհատ կուտակվող տոկոսադրույքը:

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

Փոխարինելով (3.2.3), (3.3.1) և (3.3.2) հավասարումները (3.2.5)-ով՝ կիբեռանվտանգության ապահովման նպատակով կատարված ներդրումից ստացվող α սպասվող արժեքի համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը.

$$W\left(\frac{\xi_t}{\alpha}\right) = \alpha \sup_{Q^\theta \in \tilde{\mathcal{P}}} E_t^{Q^\theta} \left[\int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds \right] + \\ + (1 - \alpha) \inf_{Q^\theta \in \tilde{\mathcal{P}}} E_t^{Q^\theta} \left[\int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds \right]: \quad (3.3.3)$$

Վերը նշվածի համաձայն՝ մեծ անորոշությունը մոդելավորվում է $\tilde{\mathcal{P}} = \{Q^\theta / \theta \in \Theta\}$ հավանականությունների բաշխումների բազմության միջոցով, իսկ մեծ անորոշության աստիճանը բնութագրվում է $K = [-k, k]$ խտության գեներատորի միջակայքով [90]:

Կիբեռանվտանգության ապահովման համար կատարված ներդրման անորոշ եկամուտի հոսքով α սպասվող արժեքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ ձևով [112].

$$W(\xi_t/\alpha) = (v - S(z, v))\lambda\xi_t \left(\frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)} \right), \quad (3.3.4)$$

որտեղից երևում է, որ մեծ անորոշության բացակայության, այսինքն՝ ($k = 0$) դեպքում, (3.3.4) հավասարումը կունենա հետևյալ տեսքը.

$$W_t = \frac{(v - S(z, v))\lambda\xi_t}{\rho - \mu}; \quad (3.3.5)$$

Հարմարավետության համար (3.3.4) հավասարման փակագծերում գրվածը փոխարինենք Ψ պարամետրով.

$$\Psi = \frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)}; \quad (3.3.6)$$

Արդյունքում՝ (3.3.4) հավասարման հաշվառմամբ (3.3.4)-ը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$W(\xi_t/\alpha) = (v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi; \quad (3.3.7)$$

Ստացվում է, որ կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրման օպտիմալ արժեքը որոշելու համար որոշում կայացնողը կհամեմատի ներդրումից սպասվելիք $W(T_t/\alpha)$ եկամուտը z ներդրման արժեքի հետ.

$$F(\xi_t/\alpha) = \max_{z \in R} \{W(\xi_t/\alpha) - z, 0\} = \max_{z \in R} \{(v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi - z, 0\}, \quad (3.3.8)$$

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

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

$$\xi^* = \frac{z}{(v - S(z, v))\lambda\Psi} = \frac{z}{(v - S(z, v))\lambda \left(\frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)} \right)}; \quad (3.3.9)$$

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:

Վերը դիտարկված մոդելի համաձայն՝ որոշում կայացնողը կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումը կատարում է

միանգամից և լիովին կամ դադարեցնում է այն: Սակայն իրականում ներդրումային նախագծի իրականացումը հնարավոր է որոշակի ժամանակով հետաձգել՝ ներդրման համար ավելի բարենպաստ պայմանների ի հայտ գալու ակնկալիքով [112]:

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 շատ կարևոր գործոններ: Մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում ներդրումային խնդիրն ունի հետևյալ տեսքը.

$$F_t = \max_{\tilde{t}} E_t \left[\int_{\tilde{t}}^{\infty} e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds - e^{-\rho(\tilde{t}-t)} z \right]: \quad (3.3.10)$$

Ընդհանուր առմամբ, (3.3.10) 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 դինամիկական ծրագրավորման միջոցով [10]:

Սակայն ի տարբերություն (3.3.8)-ով նկարագրված առավել արկման խնդրի՝ որոշում կայացնողն այժմ առնչվում է հավանականության ունենների բաշխման $\tilde{P}$ բազմության հետ: Արդյունքում, կիրառելով α սպասվող արժեքի գաղափարը, ստացվում է հետևյալ առավել արկման խնդիրը.

$$F(\xi_t/\alpha) = \max_{\tilde{t} \in [t, \infty)} E_t^\alpha \left[\int_{\tilde{t}}^{\infty} e^{-\rho(s-t)} (v - S(z, v)) \lambda \xi_s ds - e^{-\rho(\tilde{t}-t)} z \right]: \quad (3.3.11)$$

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ $\tilde{P}$ բազմությունը ուղղանկյունային է, ապա բացարձակ վատատեսության ($\alpha = 0$) կամ բացարձակ լավատեսության ($\alpha = 1$) դեպքերում այս պայմաններն ունեն ռեկուրսիվ կառուցվածք [109, 112]:

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

$$(v - S(z, v))\lambda\xi^* = \frac{b}{(b-1)\Psi^z}, \quad (3.3.12)$$

որտեղ b -ն ստացվում է

$$b = \frac{1}{2} - \frac{\eta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\eta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1 \quad (3.3.13)$$

բանաձևով, իսկ η -ն՝

$$\eta = \alpha(\mu + \sigma k) + (1 - \alpha)(\mu - \sigma k) : \quad (3.3.14)$$

Հետևաբար, ներդրման օպցիոնն իրականացվում է, այսինքն՝ ներդրումը կատարվում է այն ժամանակ, երբ $(v - S(z, v))\lambda\xi^*$ -ը գերազանցում է $(v - S(z, v))\lambda\xi^*$ -ին: Հարկ է նշել, որ (3.3.12) հավասարումը շատ նման է մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում ներդրում կատարելու կրիտիկական կետը նկարագրող հավասարմանը, որում $(v - S(z, v))\lambda\xi$ -ն տրված է [112]՝

$$(v - S(z, v))\lambda\xi = \frac{b}{b-1} z(\rho - \mu), \quad (3.3.15)$$

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 խուսափողի ($\alpha = 0$) դեպքում կրիտիկական մակարդակը՝ $(v - S(z, v))\lambda\xi^*$, անորոշության առկայության դեպքում միշտ ավելի բարձր է, քան դրա բացակայության ժամանակ: Քանի որ ներդրում կատարելիս որոշում կայացնողի վերաբերմունքը ապագայի նկատմամբ հիմնականում գնահատվում է վատատեսական սցենարով [38], 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 օպտիոնի արժեքը ստացվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\begin{aligned} F\left(\frac{\xi_t}{\alpha}\right) &= \frac{(b-1)^{(b-1)}}{z^{(b-1)}b^b} [(v - S(z, v))\lambda \xi_t \Psi]^b = \\ &= \frac{(b-1)^{(b-1)}}{z^{(b-1)}b^b} [W(\xi_t)]^b, \quad \alpha \in \{0; 1\}: \end{aligned} \quad (3.3.16)$$

Իսկ ներդրում կատարելու օպտիմալ գումարը՝ z^* -ը ստացվում է (3.3.16)-ը ξ^* կրիտիկական մակարդակում առավել արկելով [112]:

$$z(\xi^*) = \operatorname{argmax}_{z \in R} F(\xi^*; z/\alpha): \quad (3.3.17)$$

3.4. Շեղումակայ ու ն ներդրումայ ին վճիռների կայացումը

Օրինադրալ ին մոդելը մեծ (մոդելային) անորոշություն չլինելու պայմաններում: Կազմակերպությունը մեծ անորոշության պայմաններում կիրառելի տնտեսական ոլորտում ներդրման համար կիրառում է իրական օպտիոն, որի դեպքում ներդրվող z գումարին (ծախս) համապատասխանում է նախագծի W արժեքը [113]:

Նախագծի արժեքի և ներդրման ծախսի փոխկախվածությունը նշանակենք

β -ով: Քանի որ կազմակերպությունը նախագծի ծախսերի և նախագծի արժեքի հնարավոր զարգացումների հավանականության վերաբերյալ հստակ տեղեկություններ չունի, ապա նրա վերաբերմունքը անորոշության նկատմամբ կլինի բացասական: Վերը նշվածը նախ դիտարկենք մեծ անորոշության բացակայության պայմաններում: Այս համատեքստում $(\Omega, \mathcal{F})$ -ը չափման տարածությունն է, իսկ $\mathcal{P}$ -ն՝ կազմակերպության համար ամենաընդունելի հավանականությունը (reference measure): Դա հավանականային այն չափումն է, որը կկիրառի մեծ անորոշության նկատմամբ չեզոք վերաբերմունք ունեցող կազմակերպությունը: Ենթադրենք

$$w = (w^1, w^2)^T \text{-ն}$$

$\mathcal{P}$ հավանականության նկատմամբ բրոունյան շարժումն է, որի համար գործում է $(\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$ գտումը, իսկ t ժամանակում կատարվող ծախսի և

ներդրումային նախագծի համապատասխան արժեքի փոփոխման պատահական պրոցեսներն ու նեն հետևյալ դինամիկան [114].

$$dW_t = \mu_w W_t dt + \sigma_w W_t dw_t^1, \quad (3.4.1)$$

$$dz_t = \mu_z z_t dt + \sigma_z z_t \left(\beta dw_t^1 + \sqrt{1 - \beta^2} dw_t^2 \right), \quad (3.4.2)$$

որտեղ μ_w -ն սպասվող աճի գործակիցն է, իսկ σ_w -ը նախագծի արժեքի նկատմամբ փոփոխականության ունեցողությունը: Նման կերպով՝ μ_z -ն սպասվող աճի գործակիցն է, իսկ σ_z -ը՝ ներդրումային ծախսի փոփոխելիությունը: Քանի որ տվյալ պարամետրները հաստատուններ են, ուստի W -ն և z -ը երկրաչափական բրոուների շարժումներ են: Այս պայմաններում, երբ ներդրողը չի կարևորում մեծ անորոշությունը և տվյալ պարամետրներն ընդունում է որպես ստույգ արժեքների, ապա նշված խնդիրը կարելի է լուծել հետևյալ հավասարումով [115].

$$F(W, z) = \sup_{\tau \in \mathcal{T}} E[e^{-\delta \tau} (W_\tau - z_\tau)] = E[e^{-\delta \tau^*} (W_{\tau^*} - z_{\tau^*})], \quad (3.4.3)$$

որտեղ ρ -ն դիսկոնտավորման գործակիցն է, իսկ $\mathcal{T}$ -ն՝ ներդրման հնարավոր ժամանակների բազմությունը: Վերը նշվածի հաշվառմամբ տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործենք Բելմանի հավասարումը.

$$\begin{aligned} \mu_w W \frac{\partial F(W, z)}{\partial W} + \mu_z z \frac{\partial F(W, z)}{\partial z} + \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 F(W, z)}{\partial W^2} + \\ + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z^2 \frac{\partial^2 F(W, z)}{\partial z^2} + \sigma_w \sigma_z \beta W \frac{\partial F(W, z)}{\partial W \partial z} - \delta F(W, z) = 0: \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

Այս դեպքում W^* -ը և z^* -ը այն արժեքներն են, որոնց դեպքում ներդրումը կկատարվի, իսկ (3.4.4) արտահայտության մասնակի դիֆերենցիալ հավասարումով որոշվում է ներդրման օպցիոնի արժեքը հետևյալ սահմանային պայմաններում [116].

$$\lim_{W \rightarrow 0} F(W, z) = 0, \quad (3.4.5)$$

$$\lim_{z \rightarrow \infty} F(W, z) = 0, \quad (3.4.6)$$

$$F(W^*, z^*) = W^* - z^*, \quad (3.4.7)$$

$$\left. \frac{\partial F(W, z)}{\partial W} \right|_{W=W^*} = 1, \quad (3.4.8)$$

$$\left. \frac{\partial F(W, z)}{\partial z} \right|_{z=z^*} = -1 : \quad (3.4.9)$$

Իրական օպցիոնների մասնագիտական գրականության ու նույն դրանք կոչվում են ստանդարտ պայմաններ [63, 117, 118]: Այսպիսով՝ (3.4.5)-բանաձևը օպցիոնի արժեզրկման պայմանն է, քանի որ ներդրումային նախագծի արժեքը ձգտում է 0-ի, իսկ (3.4.6) պայմանը ցույց է տալիս, որ ներդրման ծախսն անվերջ մեծ լինելու դեպքում ներդրման օպցիոնի արժեքը կլինի զրո: (3.4.7) պայմանը ցույց է տալիս, որ ներդրում կատարելու օպցիոնի արժեքը հավասար է նախագծի արժեքի և ներդրման ծախսերի տարբերությանը (*value matching condition*), իսկ (3.4.8) և (3.4.9) պայմաններն անհրաժեշտ են կամընտրական ներդրումային սահմանագիծը (*smooth pasting conditions*) որոշելու համար: Նշենք նաև, որ ինդրի լուծումը կարելի է բերել մի այնպիսի տեսքի, որ այն կախված լինի միայն $\tilde{W} = W/z$ եկամուտի գործակցից, այսինքն՝

$$F(W, z) = z f(\tilde{W}) , \quad (3.4.10)$$

որտեղ $f(\tilde{W})$ -ը բավարարում է (3.4.4) բանաձևում ներկայացված Բելմանի հավասարմանը, և $\tilde{W}^* = W^*/z^*$: Կիրառելով (3.4.7), (3.4.8) և (3.4.9) պայմանները՝ ներդրման օպցիոնի արժեքի համար կունենանք [113].

$$F(W, z) = z(\tilde{W}^* - 1) \left(\frac{W/z}{\tilde{W}^*} \right)^\alpha , \quad (3.4.11)$$

որտեղ

$$\alpha = \frac{\left(\hat{\mu} - \frac{1}{2} \sigma^T \sigma \right) + \left[\left(\hat{\mu} - \frac{1}{2} \sigma^T \sigma \right)^2 + 2\delta \sigma^T \sigma \right]^{1/2}}{\sigma^T \sigma} : \quad (3.4.12)$$

Նշենք նաև, որ (3.4.12) բանաձևում $\sigma = [\sigma_{\tilde{W}}, \sigma_z - \beta \sigma_w]$, $\hat{\mu} = \mu_w - \mu_z$ և $\sigma^T \sigma = [\sigma_w^2 + 2\sigma_w(\sigma_z - \beta \sigma_w) + (\sigma_z - \beta \sigma_w)^2]$, ուրեմն՝ օպտիմալ ներդրման սահմանագիծը կարելի է ստանալ հետևյալ տեսքով.

$$\tilde{W}^* = \frac{\alpha}{\alpha - 1} : \quad (3.4.13)$$

Քանի որ ($\alpha > 1$), կազմակերպությունը կսպասի այնքան ժամանակ, մինչև որ նախագծի արժեքը ներդրման ծախսից ավելի մեծ չլինի:

Խնդիրը կարելի է պարզեցնել՝ ընդունելով, որ ներդրման ծախսը հաստատուն է: Ուստի ներդրման օպտիմի արժեքը կլինի.

$$F(W) = (W^* - z) \left(\frac{W}{W^*} \right)^{\hat{\alpha}}, \quad (3.4.14)$$

որտեղ

$$W^* = \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\alpha} - 1} z, \quad (3.4.15)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{-\left(\mu_w - \frac{1}{2}\sigma_w^2\right) + \sqrt{\left(\mu_w - \frac{1}{2}\sigma_w^2\right)^2 + 2\sigma\delta}}{\sigma_w^2} > 1: \quad (3.4.16)$$

Շեղումակայ ու ն մոդել ավորումը հարաբերական էնտրոպիայի միջոցով: Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը կիրենձանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելիս չի կարող միանգամայն վստահ լինել, որ P -ն ամենաընդունելի հավանականությունն է (*reference measure*) [43, 33, 31]: Այս դեպքում կազմակերպությունը պետք է դիտարկի հավանականությունների ավելի մեծ բազմություն: Նշվածի հաշվառմամբ կիրենձանվտանգության ոլորտում ներդրումային որոշումների կայացման ասպարեզում մոդելային անորոշության մոդելավորման նպատակով կիրառելի են այլ ոլորտների համար մշակված միջարք մոտեցումներ: Ենթադրվում է, որ որոշում կայացնողը տեղյակ է մոդելում առկա դատարկ բազմությունների մասին և պետք է դիտարկի P -ին համարժեք հավանականություններ [29]: Այս դեպքում կարող ենք կիրառել Գիրսանովի թեորեմը, որի համաձայն՝ յուրաքանչյուր $(\tilde{P} \sim P)$ հավանականություն պետք է բավարարի հետևյալ առնչությունը.

$$\tilde{P}_t(A) = E[1_A \mathcal{E}(\theta)_t], \quad A \in \mathcal{F}_t, \quad (3.4.17)$$

որտեղ

$$\mathcal{E}(\theta)_t = \exp \left[- \int_0^t \theta_s dw_s - \frac{1}{2} \int_0^t \theta_s^T \theta_s ds \right], \quad (3.4.18)$$

իսկ P_t -ն P -ի սահմանափակումն է $\mathcal{F}_t$ -ով, ինչը ճիշտ է նաև $\tilde{P}_t$ -ի համար: Այս դեպքում $\theta = [\theta_1, \theta_2]^T$ պրոցեսն անվանենք աղավաղիչ (*distortion process*), որը չափելի է աստիճանական կարգով և բավարարում է հետևյալ պայմանը [114, 113].

$$\int_0^{\infty} \theta_s^T \theta_s ds < \infty, \quad (3.4.19)$$

քանի որ

$$d\tilde{w}_t^1 = dw_t^1 + \theta_{1t} dt, \quad d\tilde{w}_t^2 = dw_t^2 + \theta_{2t} dt : \quad (3.4.20)$$

Այժմ Θ -ով նշագրենք բոլոր θ աղավաղիչ պրոցեսները: Ընդամիս $(\tilde{P} \sim P)$, հաշվառմամբ $(\theta \in \Theta)$ պրոցեսի դեպքում սպասվող աճման գործակիցները $\tilde{P}$ -ի համար կլինեն՝

$$\mu_w - \sigma_w \theta_{1t}, \quad (3.4.21)$$

$$\mu_z - \sigma_z \left(\beta \theta_{1t} + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_{2t} \right) : \quad (3.4.22)$$

Նշվածի հաշվառմամբ (3.4.21) և (3.4.22) գործակիցները համապատասխանաբար ներմուծելով նախագծի արժեքի՝ (3.4.1)-ի և ներդրման ծախսի՝ (3.4.2)-ի մեջ՝ կստանանք.

$$dW_t = (\mu_w - \sigma_w \theta_{1t}) W_t dt + \sigma_w W_t d\tilde{w}_t^1, \quad (3.4.23)$$

$$dz_t = \left(\mu_z - \sigma_z \left(\beta \theta_{1t} + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_{2t} \right) \right) z_t dt + \sigma_z z_t \left(\beta d\tilde{w}_t^1 + \sqrt{1 - \beta^2} d\tilde{w}_{2t} \right) : \quad (3.4.24)$$

Մոդելային անորոշության հաշվառմամբ (3.4.1) և (3.4.2) արտահայտություններում կատարված փոփոխությունները, որոնց միջոցով ստացվել են (3.4.23) և (3.4.24) արտահայտությունները, մեկնաբանենք հետևյալ կերպ. քանի որ կազմակերպությունը որդեգրել է մեծ անորոշությունից խուսափելու (*ambiguity-averse*) ռազմավարություն, ուստի ամենաընդունելի հավանականությունից շեղված տարբերակի ընտրությունը կհանգեցնի օպցիոնի պակաս շահավետությանը [114, 113]: Մասնավորապես, նախագծի արժեքի հավանական շեղումը կարող է լինել շատ բարձր, քան իրական շեղումն է, մինչդեռ ներդրման ծախսի հավանական շեղումը կարող է իրական շեղումից շատ ավելի ցածր լինել: Նման իրավիճակում կազմակերպությունը խուսափողական ռազմավարության ընտրությունը դիտում է որպես մաքսիմիս խնդիր [90, 103, 119, 106]: Եվ քանի որ կազմակերպությունը հակված չէ կիրառելու իր համար ամենաընդունելի հավանականությունից շեղվող հավանականություն, ապա տվյալ

դեպքում որոշում կայացնողի համար պայմանականորեն սահմանենք տույժ (penalty):

Այս համառոտում ներդրում կատարելու օպցիոնի այլ ընտրանքային արժեքը նշագրենք $\tilde{F}(W, z)$ -ով: Դրանում ներառված են ինչպես սպասվող եկամուտը, այնպես էլ այլ հավանականություն ընտրելու համար նախատեսված տույժը [114, 113].

$$\tilde{F}(W, z) = \sup_{\tau \in \mathcal{T}} \inf_{\theta \in \Theta} \left[E^{\tilde{P}}[e^{-\delta(\tau-t)}(W_{\tau} - z_{\tau})] + \Psi^{-1} \int_0^{\tau} \int_{\Omega} \log\left(\frac{d\tilde{P}_s}{dP_s}\right) d\tilde{P}_s \right] \quad (3.4.25)$$

Տվյալ հավասարման երկրորդ մասը վերը նշված տույժն է, որը, ըստ էության, երկու հավանականության հարաբերական էնտրոպիան է.

$$\begin{aligned} \mathcal{R}(\tilde{P}) &= \int_0^{\tau} \int_{\Omega} \log\left(\frac{d\tilde{P}_s}{dP_s}\right) d\tilde{P}_s ds = \\ &= \int_0^{\tau} \int_{\Omega} \left(- \int_0^s \theta_r dw_r - \frac{1}{2} \int_0^s \theta_r^T \theta_r dr \right) d\tilde{P}_s ds : \end{aligned} \quad (3.4.26)$$

Նշենք նաև, որ P շեղված հավանականության ընտրությունը համարժեք է θ պրոցեսի ընտրությանը: Մոդելավորման այս եղանակը հավաստում է, որ եթե դիտարկվող երկու մոդելները բավական տարբեր են միմյանցից, ապա հարաբերական էնտրոպիան անվերջ է, և որոշում կայացնողը երբեք չի ընտրի տվյալ հավանականությունը:

Այս տեսանկյունից ամենաընդունելի հավանականության փոխարեն շեղված հավանականության ընտրության դեպքում մեծ անորոշությունից կազմակերպության խուսափելու աստիճանը պատկերացնելու համար (3.4.25)-ում ներկայացված էնտրոպիան կամ տույժը նշագրենք Ψ^{-1} -ով, որտեղ.

$$\Psi = \begin{bmatrix} \varphi_1 & 0 \\ 0 & \varphi_2 \end{bmatrix} : \quad (3.4.27)$$

Յետևաբար, φ_1 -ը w_1 -ի, իսկ φ_2 -ը՝ w_2 -ի տատանումների առկայությունը կազմակերպության սուբյեկտիվ մեծ անորոշության պարամետրերն են [82, 32, 114, 113]: Երբ որոշում կայացնողը համոզված է, որ տվյալ հավանականությունը ամենաընդունելին է, նա կդիտարկի ավելի մեծ հարաբերական էնտրոպիայով մոդելներ:

Ներդրումների մոդելավորումը շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորման միջոցով: Կիրառական տանգոնայն ոլորտում օպտիմալ ներդրում կատարելու համար այժմ դիտարկենք շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորումը [43, 104, 105] (Բելմանի շեղումակայուն հավասարումը), որը Բելմանի հավասարման (ոչ շեղումակայուն) հստակեցված տարբերակն է: Շեղումակայունության հաշվառմամբ Բելմանի հավասարման կիրառությունը հասկանալու համար նախ դիտարկենք դրա կիրառությունը այն դեպքում, երբ կազմակերպությունը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի չեզոք դիրքորոշում: Բելմանի հավասարման համաձայն՝ անվերջ փոքր գեներատորի ստեղծած արժեքները պետք է հավասար լինեն սպասվող եկամուտի չափին: Այստեղ անվերջ փոքր գեներատորը մեկնաբանվում է որպես $\tilde{F}$ -ի անվերջ փոքր սպասվող փոփոխություն, այսինքն՝ $E[d\tilde{F}]/dt$ [114, 113]:

Յետևաբար, Իտոյի լեմմա (3.4.1) ու (3.4.2) հավասարումներում արտահայտված մոդելային անորոշության նկատմամբ չեզոք դիրքորոշման դեպքում եկամուտի սպասվող աճի չափի հաշվառմամբ կազմված (3.4.4) հավասարումը Բելմանի շեղումակայուն հավասարման վերածելու համար անհրաժեշտ է կատարել հետևյալ փոփոխությունները. նախ՝ ներդրումային նախագծի արժեքի և ներդրման ծախսի աճը պետք է բնութագրվի (3.4.23) և (3.4.24) հավասարումներում ներկայացվող շեղված հավանականություններով: Անհրաժեշտ է նաև (3.4.26) հավասարման մեջ ներմուծել հարաբերական էնտրոպիայի կշռային ածանցյալը: Ըստ այդմ կստանանք [114, 113, 120].

$$\mathcal{R}'(\tilde{P}) = \frac{\partial \mathcal{R}(\tilde{P})}{\partial t} = E^{\tilde{P}} \left[\frac{1}{2} \theta^T \theta \right] : \quad (3.4.28)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ կարող ենք ստանալ Բելմանի շեղումակայուն հավասարումը.

$$\begin{aligned} \inf_{\theta \in \Theta} & \left[(\mu_w - \sigma_w \theta_1) W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \left(\mu_z - \sigma_z (\beta \theta_1 + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_2) \right) z + \right. \\ & + \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W^2} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial z^2} + \sigma_w \sigma_z W z \beta \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W \partial z} \\ & \left. - \delta \tilde{F}(W, z) + \frac{1}{2} \text{Tr}(\Psi^{-1} \theta^T \theta) \right] = 0, \end{aligned} \quad (3.4.29)$$

որտեղ Tr -ը մատրիցի հետքն է.

$$\text{Tr}(\Psi^{-1} \theta^T \theta) = \frac{1}{\varphi_1} \theta_1^2 + \frac{1}{\varphi_2} \theta_2^2 : \quad (3.4.30)$$

θ աղավաղիչ արոցեսի համար առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարման պայմանների օգտագործմամբ՝ կստանանք.

$$\theta_1^* = \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right), \quad (3.4.31)$$

$$\theta_2^* = \varphi_2 z \sqrt{1 - \beta^2} \sigma_z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} : \quad (3.4.32)$$

Վերջին հավասարումները ներմուծելով Բելմանի շեղումակայուն (3.4.29) հավասարման մեջ՝ կստանանք հետևյալ մասնակի դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\begin{aligned} & \left(\mu_w - \sigma_w \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) \right) W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \\ & \left(\mu_z - \sigma_z \left(\beta \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) + (1 - \beta^2) \varphi_2 \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) \right) z + \\ & + \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W^2} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial z^2} + \beta \sigma_w \sigma_z W z \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W \partial z} - \delta \tilde{F}(W, z) + \\ & + \frac{1}{2} \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} \varphi_2 \sigma_z^2 (1 - \beta^2) z^2 \left(\frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right)^2 = 0 : \end{aligned} \quad (3.4.33)$$

Ընդունենք, որ կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերը խաթարող ξ_t սպառնալիքն ունի (3.4.23)-ով ներկայացված պատահական դիֆերենցիալ հավասարման տեսքը: Չափի առնելով վերը նշվածը՝ ցույց տանք, որ

կիբեռանվտանգության ու որոտում կատարվող ներդրման նախագծի W_t արժեքը բնութագրվում է միևնույն տեսակի պատահական դիֆերենցիալ հավասարմամբ:

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը հակված է կիբեռանվտանգության ու որոտում ներդրում կատարելուն: Տվյալ խնդրի լուծման համար դիտարկենք հետևյալ հավասարումը.

$$\tilde{F}(W) = \sup_{\tau \in T} \inf_{\theta \in \Theta} \left[E^{\theta} [e^{-\rho \tau} (W_{\tau} - z)] + \frac{1}{\varphi} \int_0^{\infty} \int_{\Omega} \log \left(\frac{dP_s}{d\tilde{F}_s} \right) dP_s ds \right], \quad (3.4.34)$$

որտեղ z -ը, Գորդենի և Լոբբի մոդելի համաձայն, կիբեռանվտանգության ու որոտում կատարվող ներդրման ֆիքսված ծախսն է, և $\varphi = \varphi(W) = \eta / \tilde{F}(W)$: Նշված ներդրման խնդրի լուծման համար Բելմանի շեղումակայուն հավասարումից կարող ենք ստանալ հետևյալ սովորական դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}}{\partial W^2} + \mu_w W \frac{\partial \tilde{F}}{\partial W} - \rho \tilde{F} - \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \eta \tilde{F}(W)^{-1} \left(\frac{\partial \tilde{F}}{\partial W} \right)^2 = 0, \quad (3.4.35)$$

որի վերջին բաղադրիչը տվյալ հավասարումը վերածում է ոչ գծային հավասարման: Խնդրի լուծման համար դիտարկենք նաև հետևյալ սահմանային պայմանները.

$$\lim_{W \rightarrow 0} \tilde{F}(W) = 0, \quad (3.4.36)$$

$$\tilde{F}(W^*) = W^* - z, \quad (3.4.37)$$

$$\frac{d\tilde{F}(W^*)}{dW} = 1: \quad (3.4.38)$$

Այստեղից կարելի է ենթադրել, որ $(W < z)$ -ի դեպքում ներդրման օպցիոնը չի իրականացվի, իսկ վերը նշված սահմանային պայմանների հաշվառմամբ (3.4.35) հավասարման լուծումը էականորեն կտարբերվի ստանդարտ լուծումից (մեծ անորոշությունը առկա չէ): Ներդրման ֆիքսված ծախսի համար ներկայացնենք նաև (3.4.27)-ով նշագրված տույժի պարամետրը.

$$\varphi = \varphi(W) = \frac{\eta}{\tilde{F}(W)}: \quad (3.4.39)$$

Այս համատեքստում, երբ ներդրողը մեծ անորոշության նկատմամբ ունի բացասական վերաբերմունք, այսինքն՝ $(\eta \leq K)$, ապա ներդրումային նախագծի արժեքը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով [114, 113].

$$F(W) = (W^* - z) \left(\frac{W}{W^*} \right)^{\beta_1}, \quad (3.4.40)$$

որտեղ

$$\beta_1 = \frac{-\left(\mu_w - \frac{1}{2}\sigma_w^2\right) + \sqrt{\left(\mu_w - \frac{1}{2}\sigma_w^2\right)^2 + 2(1-\eta)\sigma_w^2\rho}}{\sigma_w^2(1-\eta)}, \quad \eta \neq 1, \quad (3.4.41)$$

$$= \frac{\rho}{\mu_w - \frac{1}{2}\sigma_w^2}, \quad \eta = 1: \quad (3.4.42)$$

Այս դեպքում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու օպտիմալ սահմանագիծը կստանանք հետևյալ կերպ.

$$W^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} z: \quad (3.4.43)$$

Իսկ $(\eta > K)$ -ի դեպքում նախագծի արժեքը հավասար կլինի 0-ի:

(3.4.40)–(3.4.43) հավասարումներից հետևում է, որ ներդրման օպցիոնի արժեքը և ներդրման օպտիմալ սահմանագիծը կախված են մեծ անորոշության նկատմամբ բացասական դիրքորոշում ունենալու աստիճանից և $(2\mu_w - \sigma_w^2)$ -ի նշանից:

Չետևաբար, $(2\mu_w - \sigma_w^2 < 0)$ -ի և $(\eta < 1)$ -ի դեպքում սպասման օպցիոնի արժեքը գրո է: Օպցիոնի արժեքը հավասար է 0-ի նաև $(2\mu_w - \sigma_w^2 = 0)$ -ի և $(\eta \geq 1)$ -ի դեպքում, քանի որ ներդրման օպտիմալ սահմանագիծը z է: Ի հավելումն նշվածի՝ բավականին փոքր σ_w -ի դեպքում կուսենանք $(\forall \eta, W^* > z)$, այսինքն՝ օպցիոնի արժեքը կլինի դրական: Նույնիսկ փոփոխականության բացակայության և $(\eta = 0)$ -ի դեպքում, երբ խնդիրը դառնում է դետերմինիստիկ, ներդրման օպտիմալ սահմանագիծը z -ից ավելի բարձր է, այսինքն [63, 114, 113]՝

$$W^* = \frac{\rho}{\rho - \mu w}: \quad (3.4.44)$$

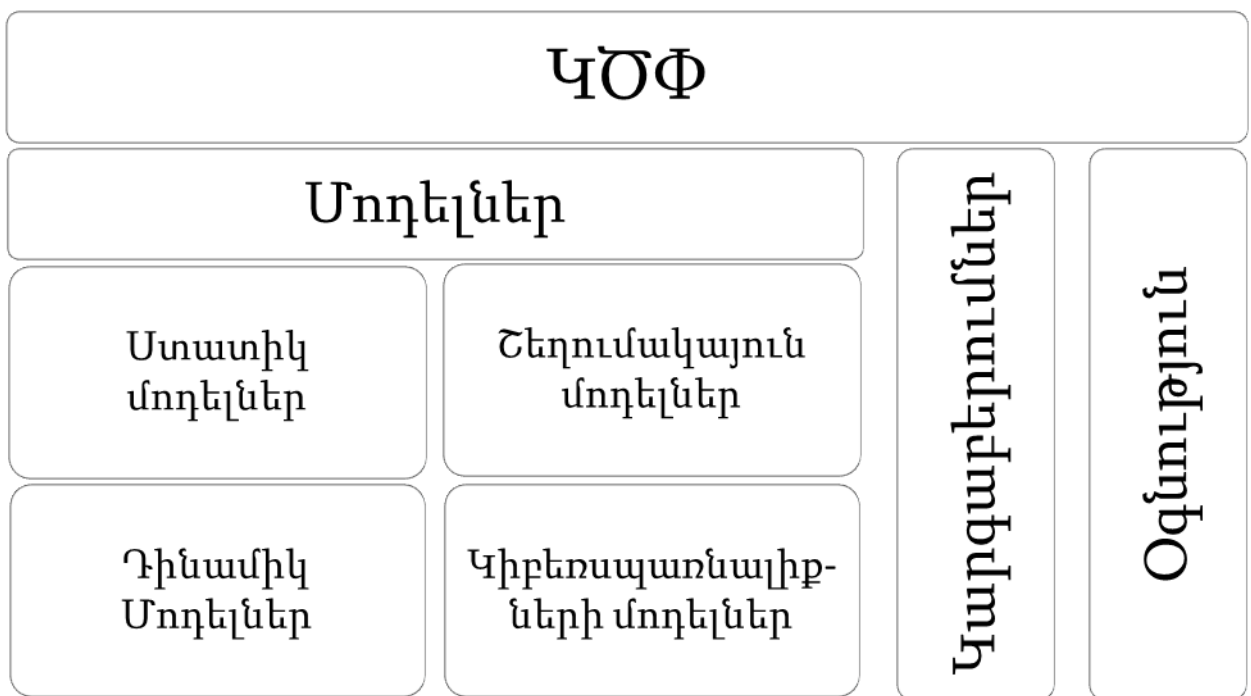
Եզրակացություններ 3-րդ գլխի վերաբերյալ

- 1) Տրվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային ռազմավարությունների առանձնահատկությունները: Ուսումնասիրվել է ներդրումային նախագծի վրա ռիսկերի և բարձր մակարդակի անորոշության ազդեցությունը: Առաջարկվել է բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների կատարման բազային մոդելը շոկեբրոունյան պրոցեսի հիման վրա: Ներկայացված է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու օպտիմալ ժամանակի մոդելը իրական օպցիոնների հիման վրա:
- 2) Ներկայացվել է ներդրումային մոդելում առկա բարձր մակարդակի անորոշությունը (մոդելային անորոշություն): Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային մոդելը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում: Մշակվել է ներդրումային մոդել՝ ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ: Տրվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում շեղումակայուն ներդրումային որոշումների կայացման մոդելները հարաբերական էնտրոպիայի և շեղումակայուն պատահական դինամիկական ծրագրավորման օգտագործմամբ:

**ԳԼՈՒԽ 4. ՌԱԶՄԱՎԱՐԱԿԱՆ ԿՃԻՌՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆՆ ՈՒ ՂՂՎԱԾ
ԱՌԱՋԱԴՐՎՈՂ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՓԱԹԵԹԻ (ԿԾՓ)
ՄԾԱԿՈՒՄՆ ՈՒ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ**

4.1. ԿԾՓ-ի կառուցվածքը, բնութագրերն ու հնարավորությունները

Ատենախոսության շրջանակներում դիտարկված մոդելների հիման վրա ծրագրային ապահովման մշակման լավագույն փորձի հաշվառմամբ մշակվել է կիրառական ծրագրերի փաթեթ [121, 122, 123, 124, 125, 126, 127]: Փաթեթի կառուցվածքը ներկայացված է նկ. 4.1.1-ում: Փաթեթն ընդգրկում է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների գնահատման և համապատասխան ներդրումային որոշումների կայացման համար մշակված տարբեր բաժիններ:



Նկ. 4.1.1 ԿԾՓ-ի կառուցվածքը

Փաթեթը բաղկացած է հետևյալ բաժիններից:

Մոդելներ բաժնում ընդգրկված են ներդրումների գնահատման ստատիկ մոդելների վրա հիմնված ներդրումային խնդիրների լուծման, տարբեր տեսակի պատահական պրոցեսների կիրառմամբ կիբեռապառնալիքների մոդելավորման համար,

կիբեռանվտանգության ոլորտում դինամիկական ներդրումների մոդելավորման, մասնավորապես ներդրումների երկփուլ և բազմափուլ մոդելների կիրառմամբ կիբեռանվտանգության ոլորտում դինամիկական ներդրումային որոշումների կայացման համար մշակված ծրագրերը: Առանձին ենթաբաժնով ներկայացվել է բարձր մակարդակի անորոշության ունենքի պայմաններում ներդրումային երկփուլ մոդելի կիրառմամբ կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային որոշումների կայացման համար մշակված ծրագիրը: Տվյալ բաժնում ընդգրկված են նաև կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրումային նախագծերի վրա ռիսկի և անորոշության ազդեցության գնահատման, կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում հարաբերական էնտրոպիայի, պատահական շեղումակայուն դինամիկական ծրագրավորման վրա հիմնված շեղումակայուն ներդրումային որոշումների կայացման համար մշակման ծրագրերը:

Մոդելների ընտրությունը կատարվում է համապատասխան մեկնությունների և կառավարման վահանակների միջոցով:

Կարգաբերումներ բաժնում ընդգրկված են փաթեթի կարգաբերումների համար մշակված ծրագրերը: Ենթամեկնությունների միջոցով կարելի փոխել փաթեթի աշխատանքային լեզուն, ինչպես նաև տվյալների շտեմարանին վերաբերող կարգաբերումները:

Օգնություն բաժնում ընդգրկված են փաթեթից օգտվելու համար նախատեսված ուղեցույց փաստաթղթերը, ինչպես նաև փաթեթի վերաբերյալ տեղեկատվություն:

ԿՓՓ-ի հիմնական բնութագրերը

Նշանակությունը: Փաթեթը նախատեսված է անհատական օգտագործման համակարգիչների համար: Փաթեթը մշակվել է Java ծրագրավորման լեզվով: Այն ալատֆորմից կախված չէ, կարելի է օգտագործել Windows, Linux և MacOS օպերացիոն համակարգերում [128, 129, 123, 130, 131, 132]:

Աշխատանքային ռեժիմները: Փաթեթն օժտված է գրաֆիկական և երկխոսային ռեժիմներով:

Շահագործումը: Փաթեթը նախատեսված է ռազմավարական ներդրումների կատարման բնագավառում որոշում կայացնողների համար: Այն կարելի է օգտագործել նաև կրթության և հետազոտության իրականացման նպատակներով:

Աշխատանքը: Փաթեթն աշխատում է երկխոսային ռեժիմում՝ մենյուների, կառավարող վահանակների, ստեղծների և գործիքների միջոցով: Արդյունքները ներկայացվում են տառաթվային և գրաֆիկական ձևաչափերով:

Հնարավորությունները: Փաթեթի օբյեկտային կողմնորոշվածությունը հնարավորություն է տալիս ընդլայնել այն մոդելների ավելի և այն դասի համարմշակվող նոր ծրագրերով [122, 133, 134]: Փաթեթն աշխատում է հայերեն և անգլերեն լեզուներով և թույլ է տալիս կարգաբերումների միջոցով ներմուծել այլ լեզուներ: Օգնության վահանակի միջոցով կարելի է տեղեկություն ստանալ փաթեթի աշխատանքի և հնարավորությունների վերաբերյալ:

4.2. ԿՃՓ-ի հիմնական դասերը

Փաթեթի աշխատանքն օպտիմալ ձևով կազմակերպելու նպատակով ստեղծվել են հետևյալ դասերը (աղ. 4.2.1, նկ. 4.2.1):

Ստեղծված դասերն ունեն հետևյալ նշանակությունները.

Main – ծրագրային փաթեթի աշխատանքի կազմակերպման հիմնական դասն է, որն աշխատում է փաթեթի տարբեր մոդուլների իրականացման համար նախատեսված այլ դասերի հետ:

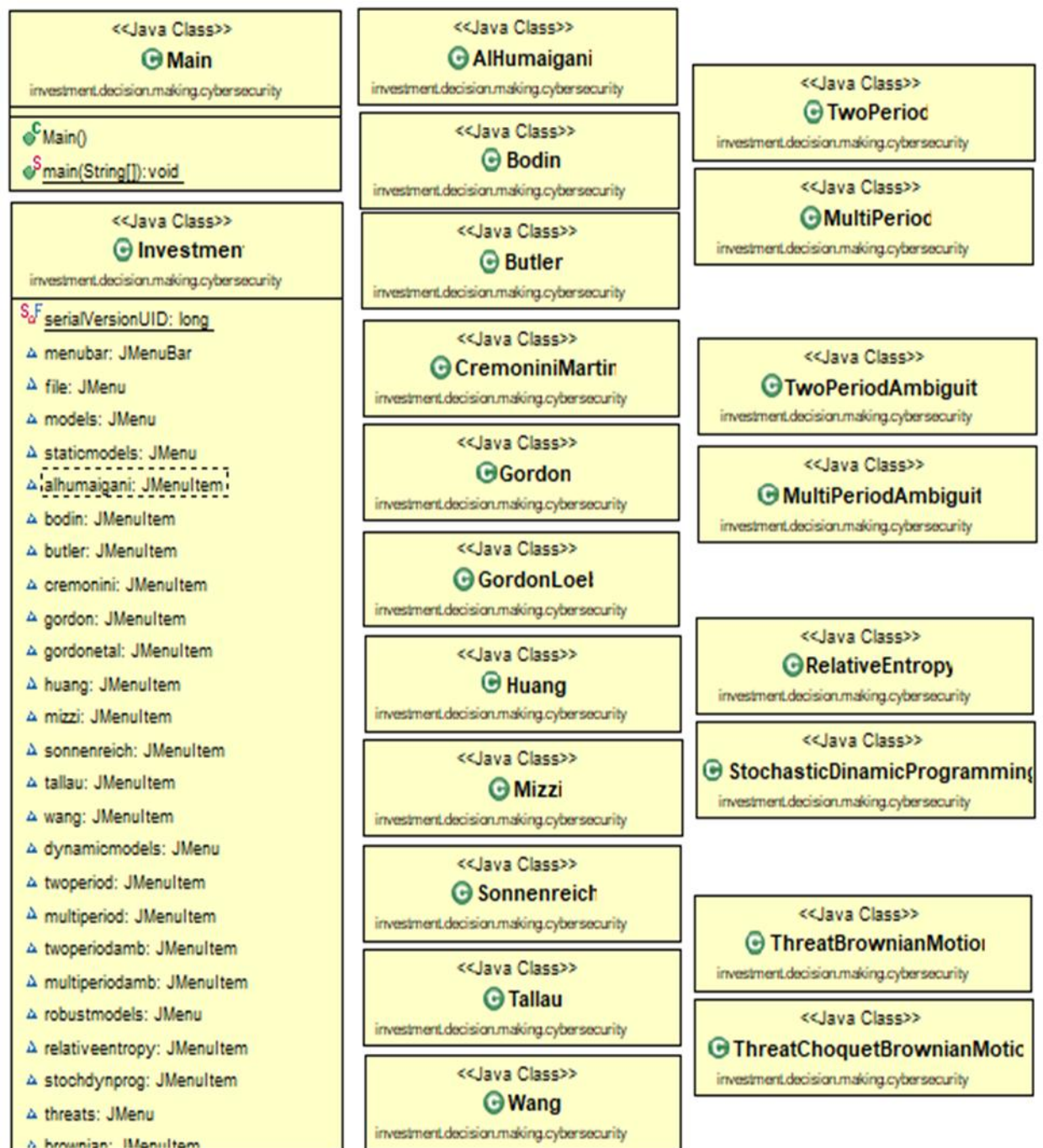
Investment – նախատեսված է փաթեթի գլխավոր պատուհանի և նրանում տեղակայված բաղադրիչների աշխատանքի կազմակերպման համար:

Փաթեթի մնացած դասերը նախատեսված են ներդրումների ստատիկ, դինամիկ, շեղումակայուն մոդելների, ինչպես նաև կիբեռսպառնալիքների մոդելների ավտոմատացման համար:

Աղյուսակ 4.2.1 ԿԾՓ-ի հիմնական դասերը

ԴԱՍԵՐԸ	ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ
AlHumaigani Butler CremoniniMartini Gordon GordonLoeb Huang Mizzi Sonnenreich Tallau Wang	Ստատիկ մոդելների ավտոմատացումը
TwoPeriod	Երկփուլ մոդելի ավտոմատացումը
TwoPeriodAmbiguity	Երկփուլ մոդելի ավտոմատացումը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում
MultiPeriod	Բազմափուլ մոդելի ավտոմատացումը
MultiPeriodAmbiguity	Բազմափուլ մոդելի ավտոմատացումը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում
RelativeEntropy	Շեղումակայուն որոշումների կայացումը հարաբերական էնտրոպիայի միջոցով
StochasticDinamicProgramming	Շեղումակայուն որոշումների կայացումը պատահական դինամիկական ծրագրավորման միջոցով
ThreatBrownianMotion	Կիբեռսպառնալիքների ավտոմատացումը բրոունյան շարժման միջոցով
ThreatChoquetBrownianMotion	Կիբեռսպառնալիքների ավտոմատացումը շոկեֆրոունյան շարժման միջոցով

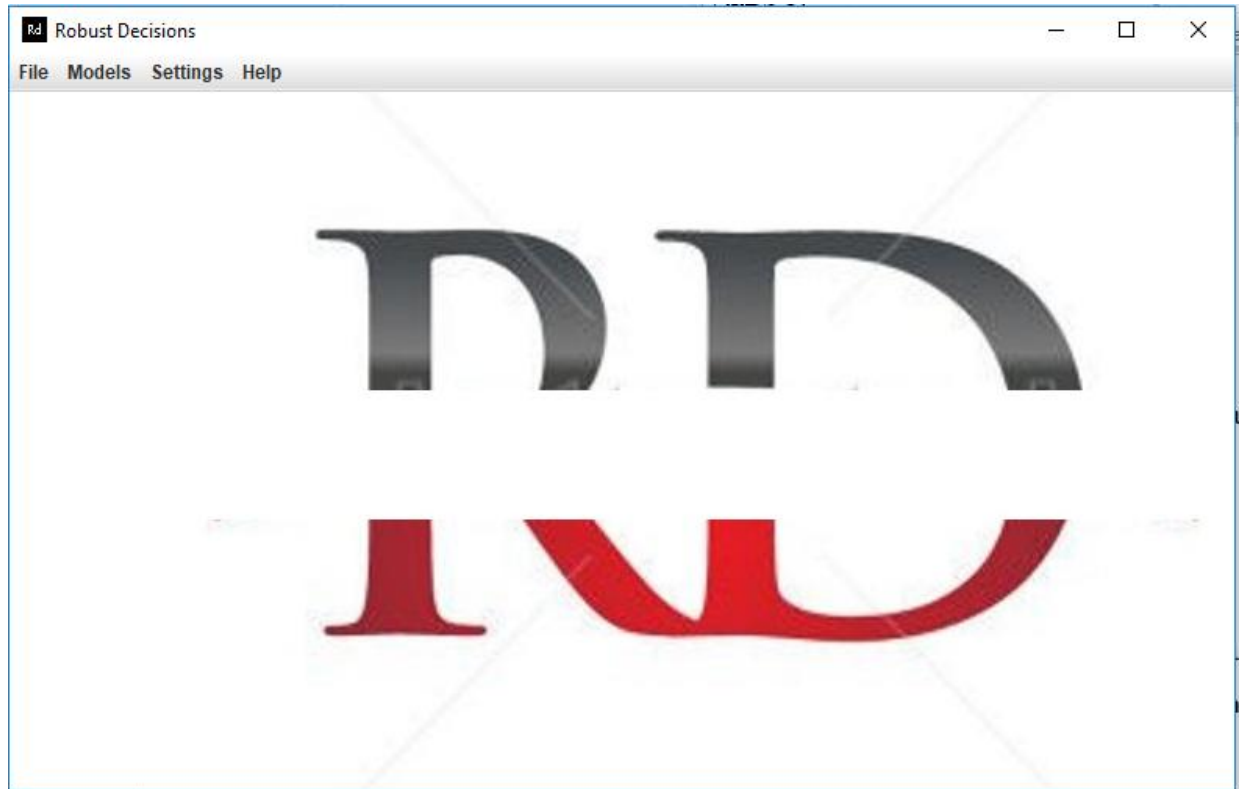
Նկ. 4.2.1-ում ներկայացված է ասենսախոսության շրջանակներում դիտարկված ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման մոդելի ներքին ավտոմատացման համար մշակված կիրառական ծրագրերի փաթեթի հիմնական դասերի դիագրամը UML համակարգի միջոցով [133, 135]:



Նկ. 4.2.1 ԿՃՓ-ի հիմնական դասերը

4.3. ԿՃՓ-ի աջ խառանքային միջավայրը

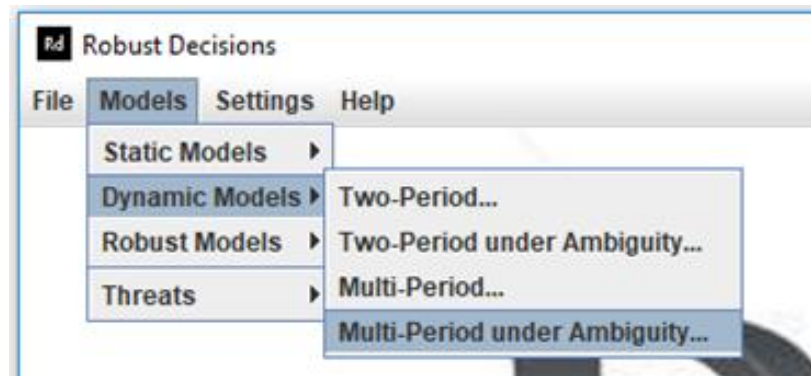
Փաթեթի թողարկող \$այլի (Robust Decisions) կատարման արդյունքում էկրանին բացվում է գլխավոր պատուհանը (նկ. 4.3.1):



Նկ. 4.3.1 ԿՃՓ-ի հիմնական պատուհանը

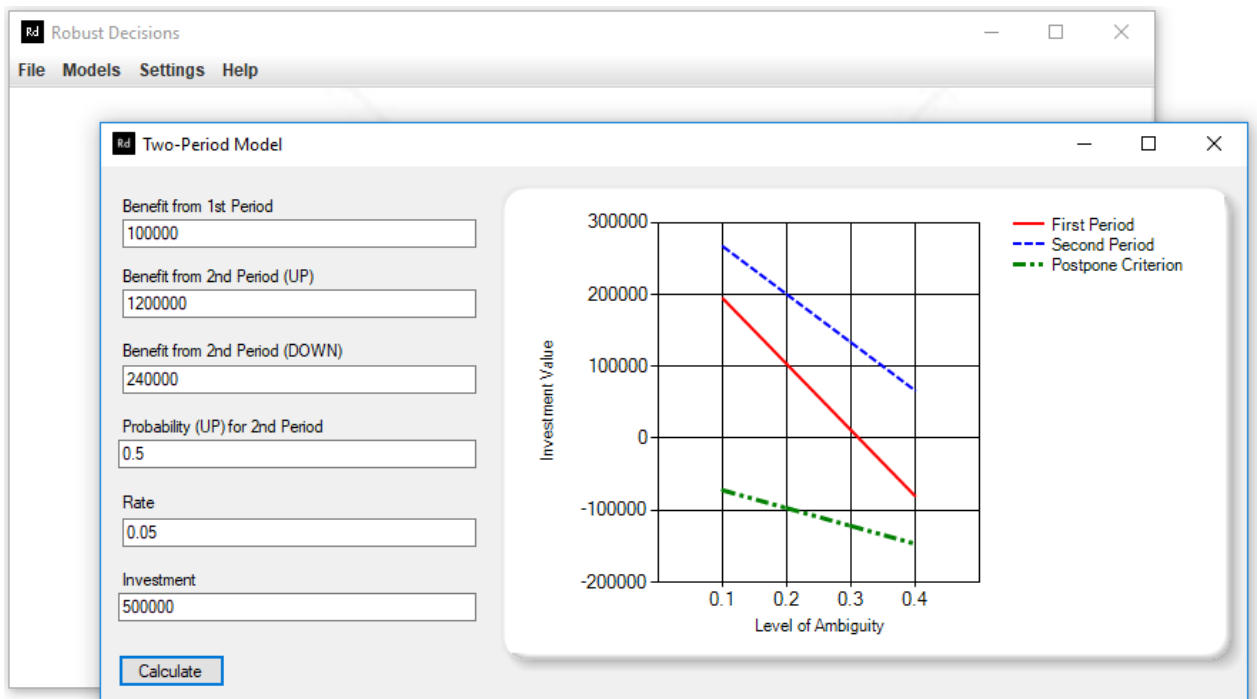
Այդ պատուհանի վերնամասում գտնվում է մենյուների վահանակը, որը բաղկացած է մենյուներից և ենթամենյուներից: Հիմնական մենյուն բաղկացած է մոդելների, կարգաբերումների և օգնության մենյուներից, որոնցից յուրաքանչյուրն իր հերթին պարունակում է ենթամենյուներ:

Այսպիսով, սեղմելով “Models” մենյուն՝ բացվում են ատենախոսության շրջանակներում դիտարկվող տարատեսակ մոդելների համար նախատեսված ենթամենյուները, որոնք դասակարգված են ըստ նշանակության (նկ. 3.3.2): Տվյալ մենյուում մոդելները դասակարգված են հետևյալ տեսքով՝ ստատիկ մոդելներ, դինամիկ մոդելներ, շեղումակայուն մոդելներ և կիբեռնապառնալիքների մոդելավորման համար նախատեսված մոդելներ:

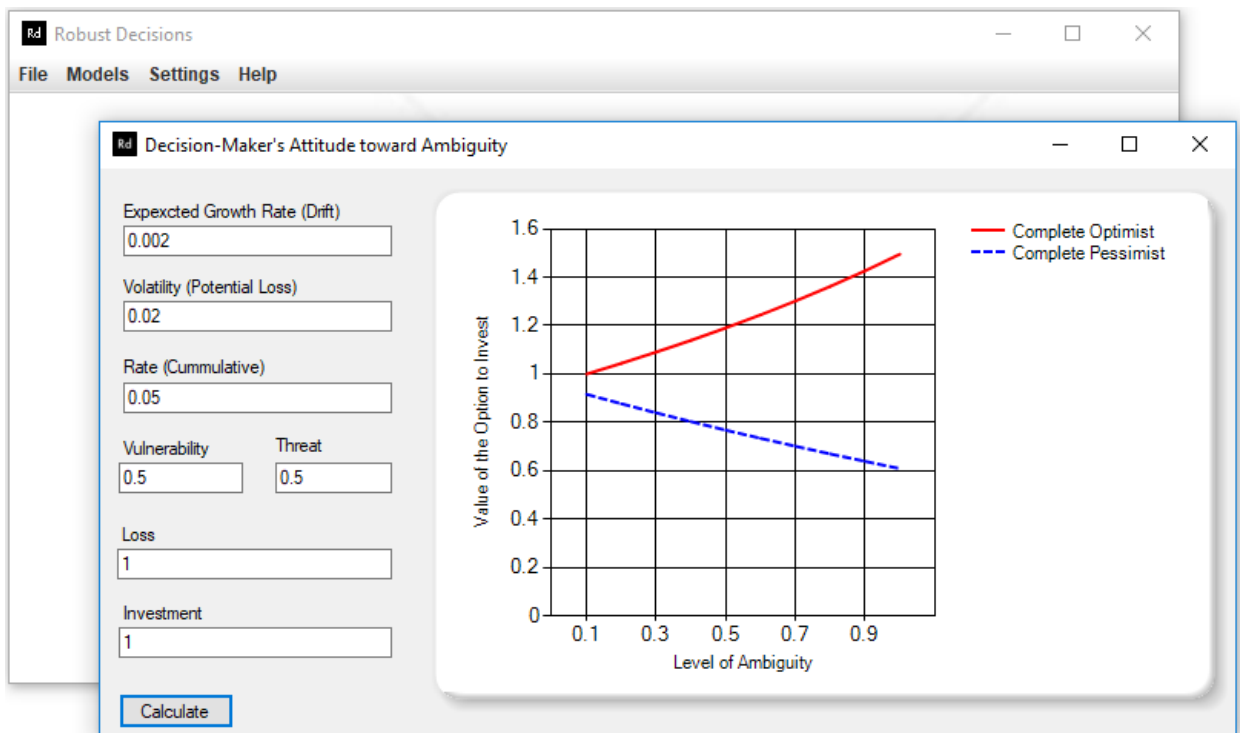


Նկ. 4.3.2 ԿՃՓ-ի մոդելների ընտրության մենյուն

Սեղմելով մոդելների մենյուի համապատասխան մոդելի վրա՝ բացվում է տվյալ մոդելի իրականացման ենթապատուհանը («մուտքագրման վարպետ» պատուհանը), որը պարունակում է արժեքների մուտքագրման, հաշվարկների կատարման և արդյունքների արտածման դաշտեր: Մուտքագրման պատուհանում մուտքագրելով անհրաժեշտ տվյալները և սեղմելով “Calculate” ստեղծը՝ համապատասխան դաշտերում կարտածվեն արդյունքները՝ թվային և գրաֆիկական ռեժիմներում (նկ. 4.3.3 և նկ. 4.3.4):



Նկ. 4.3.3 Բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում երկփուլ մոդելի կիրառման արդյունքները



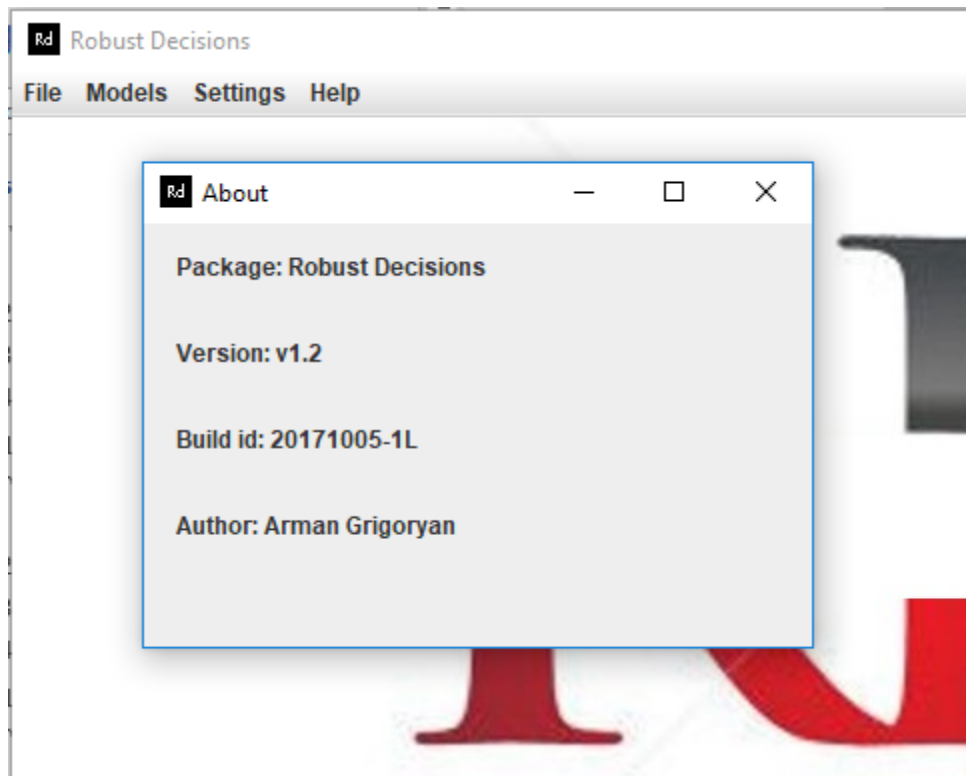
Նկ. 4.3.4 Բարձր մակարդակի անորոշ ու թյան նկատմամբ որոշ ու մ կայացնողի անձնական վերաբերմունքն արտահայտող մոդելի կիրառման արդյունքները

Մենյուի վահանակից ընտրելով “Settings” բաժինը՝ բացվում է փաթեթի կարգաբերումներին վերաբերող ենթամենյունների ցանկը: Տվյալ մենյունի միջոցով կարելի է փոխել փաթեթի աշխատանքային լեզուն (նկ. 4.3.5):



Նկ. 4.3.5 ԿՃՓ-ի կարգաբերումներին մենյունն

Մենյուների վահանակի “Help” մենյուի միջոցով կարելի է տեղեկություն ստանալ ծրագրի վերաբերյալ, ինչպես նաև ծանոթանալ ծրագրային փաթեցից օգտվելու կանոններին (նկ. 4.3.6):



Նկ. 4.3.6 ԿԾՓ-ի տեղեկատվական մենյուն

4.4. Փորձնական հետազոտությունների կատարումը

Ատենախոսության մեջ դիտարկվող մոդելների փորձարկման և կիրառական նշանակության ապահովման համար ներկայացնենք հետազոտվող խնդրին վերաբերող որոշ օրինակներ:

Օրինակ 4.4.1 [60]: Կիբեռանվտանգության ապահովման համար կազմակերպության կողմից ներդրումային ծախսերի վերաբերյալ որոշում կայացնելու համար դիտարկենք 2.3-ում ներկայացված ներդրումների երկփուլ մոդելը: Ըստ այդմ՝ ընդունենք, որ z -ը կիբեռանվտանգության ապահովման համար կատարվող ներդրման ծախսն է և $z = \$1,600,000$: Ենթադրենք՝ կազմակերպությունը լրացուցիչ խնայողությունների միջոցով կարող է ապահովել կիբեռանվտանգությունը առաջին փուլում և $B_0 = \$200,000$: Ակնկալվում է, որ հաջորդ տարի կիբեռանվտանգության

ներդրումներից սպասվող եկամուտը կփոխվի q հավանականությամբ՝ աճելով մինչև \$300,000-ի, իսկ $(1 - q)$ հավանականությամբ կնվազի մինչև \$100,000: Ենթադրենք՝ մեկ տարի անց շահույթն այս մակարդակում կայուն կմնա, իսկ ակնկալվող արդյունքը կլինի հավասար-հավանական, այսինքն՝ $q = 0.5$ (նկ. 4.4.1):

Այս պայմաններում կազմակերպությունը պետք է որոշում կայացնի կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու ռազմավարության վերաբերյալ, այսինքն՝ ներդրում կատարի տվյալ պահին, թե սպասի մեկ տարի և հետևի եկամուտի աճին կամ նվազմանը («սպասենք-տեսնենք» ռազմավարություն): Եթե կազմակերպությունը ներդրում կատարի տվյալ պահին, ապա ներդրման գումարը ընթացիկ արժեքը կստանանք հետևյալ բանաձևով.

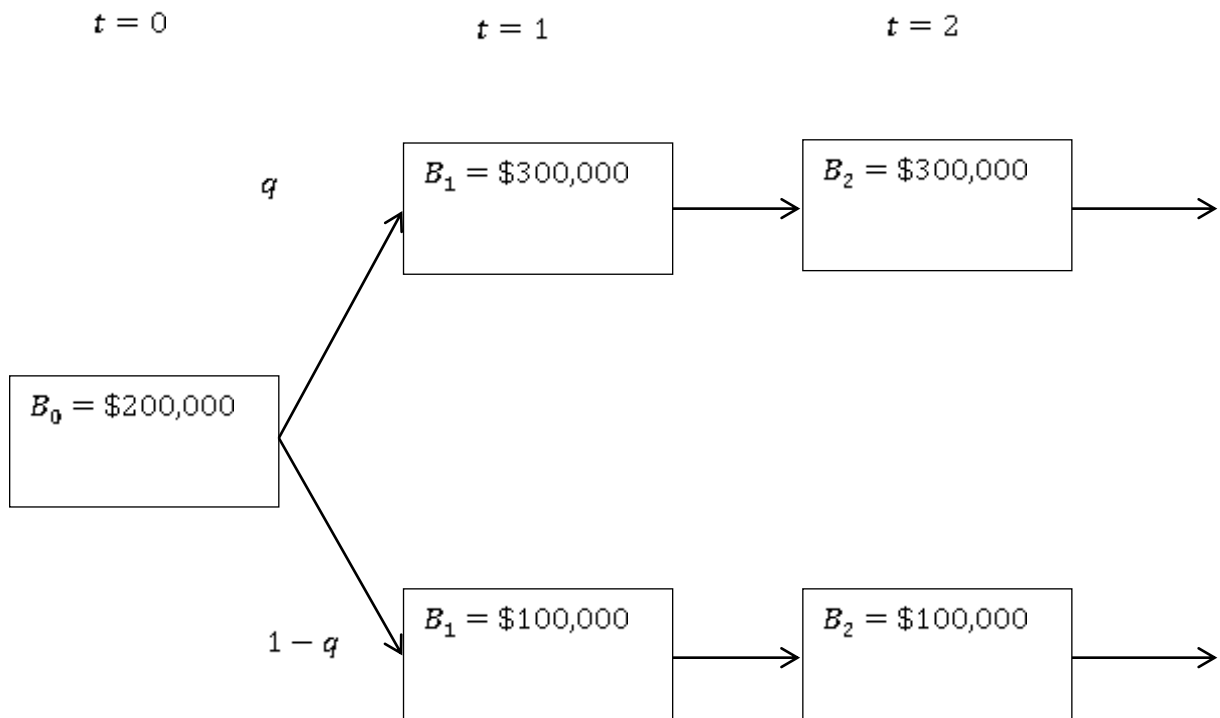
$$NPV = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_0}{(1+r)^n} - Z, \quad (4.4.1)$$

որտեղ r -ը տոկոսադրույքն է: Հաշվարկը պարզեցնելու համար ենթադրենք, որ $r = 0.1$, իսկ սպասվող եկամուտը հաստատուն է՝ \$200,000: Հետևաբար՝ կստանանք հետևյալ գումարը ընթացիկ արժեքը.

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{200,000}{(1.1)^n} - 1,600,000 = \\ &= 2,200,000 - 1,600,000 = \$600,000 : \end{aligned} \quad (4.4.2)$$

Վերը նշվածի հաշվառմամբ կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրման ընթացիկ արժեքը՝ V_0 -ն, \$2,200,000 է, ինչը գերազանցում է կիբեռանվտանգության ծախսերը \$1,600,000-ով՝ առաջին փուլում ներդրում կատարելը դարձնելով ռացիոնալ: Հարմարության համար բոլոր հաշվարկները կլորացված են:

Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը հետաձգում է ներդրումը՝ սպասելով մինչև ընթացիկ տարվա վերջը: Ըստ նկ. 4.4.1-ի՝ կազմակերպությունը պետք է դիտարկի եկամուտները համապատասխանաբար $B_1 = \$300,000$ ՝ աճի կամ $B_1 = \$100,000$ ՝ նվազման դեպքերում:



Նկ. 4.4.1 Ներդրումից սպասվող եկամուտները աճի և նվազման դեպքերում

Երբ սպասվող եկամուտը մեծ է, ապա գուտը նթացիկ արժեքը 0.5 հավանականությամբ կկազմի.

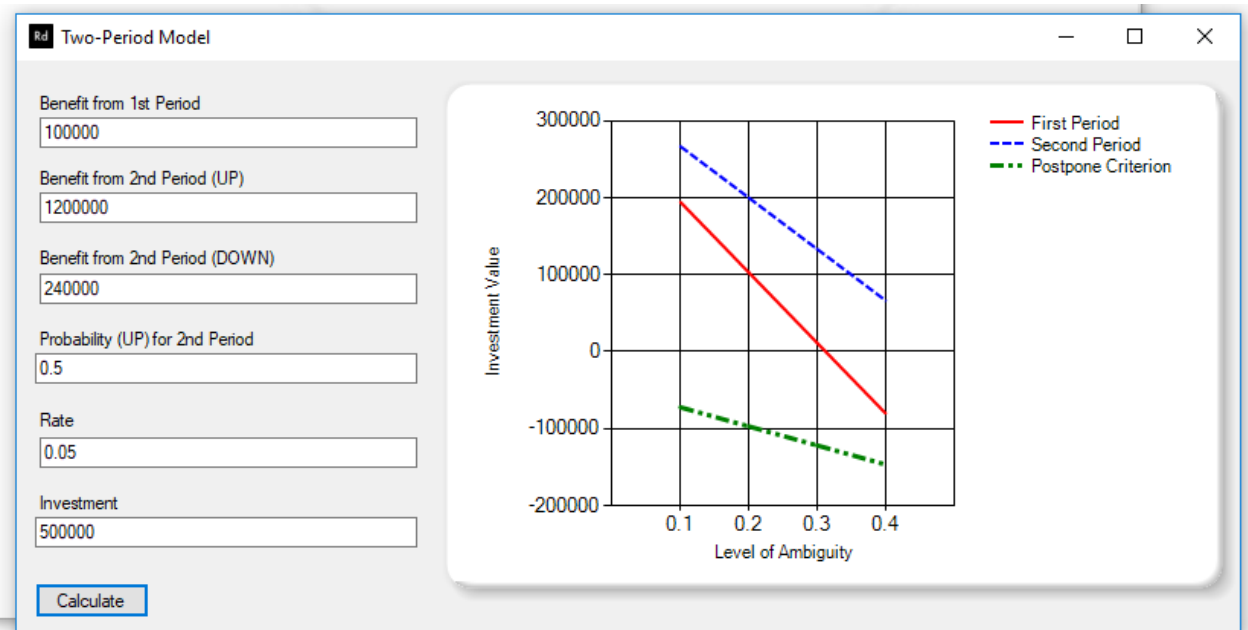
$$NPV = (0.5) \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{300,000}{(1.1)^n} - \frac{160,000}{1.1} \right] = \$773,000 : \quad (4.4.3)$$

Ստացվում է, որ $t = 0$ տարում չկան ծախսեր, և չկա եկամուտ: Իսկ երբ եկամուտը փոքր է, այսինքն՝ $B_1 = \$100,000$, ապա գուտը նթացիկ արժեքը փոքր է օ-ից: Ընդամեն, սպասենք-տեսենք ներդրումային ռազմավարությունը լրիվ ռացիոնալ ընտրություն է, քանի որ տվյալ դեպքում ներդրման օպցիոնի գուտը նթացիկ արժեքը կկազմի \$600,000:

Օրինակ 4.4.2 [99]: Այժմ դիտարկենք ներդրումների երկփուլ մոդելը մեծ անորոշության պայմաններում: Դիտարկենք այն դեպքը, երբ կազմակերպությունը ներդրում կատարելու որոշում կայացնելիս միանգամայն վստահ չէ այն հարցում, որ եկամուտը կաճի սպասված չափով, քանի որ եկամուտը կարող է աճել տարբեր

հավանականություններով (q_u , q_d և այլն): ՌԻստի կազմակերպությունը չի կարող վստահ լինել, որ եկամուտը կաճի որոշակի (որևէ կոնկրետ) հավանականությամբ և եկամուտի աճի որոշակի հավանականության փոխարեն կդիտարկի հավանականությունների բազմություն: Բազմակի հավանականությունների առկայության դեպքում կազմակերպությունը սովորաբար որդեգրում է անորոշությունից խուսափողի դիրքորոշում, ուստի ներդրում կատարելու որոշում կայացնելիս հիմնականում կիրառում է վատագույն տարբերակի հավանականությունը:

Օրինակ 4.4.1-ի նման ներկայացնենք հետևյալ թվային օրինակը, որի հաշվարկների արդյունքները կներկայացնենք ատենախոսության շրջանականերում մշակված կիրառական ծրագրերի փաթեթի միջոցով (նկ. 4.4.2): Ընդունենք, որ ներդրման գումարը՝ $z = 500,000$, առաջին փուլից ստացվող եկամուտը՝ $B_0 = 100,000$, երկրորդ փուլից ստացվող եկամուտի աճի դեպքում՝ $B_u = 1,200,000$, երկրորդ փուլից ստացվող եկամուտի նվազման դեպքում $B_d = 240,000$, տոկոսադրույքը՝ $r = 0.05$, աճի հավանականությունը՝ $q_u = 0.5$:



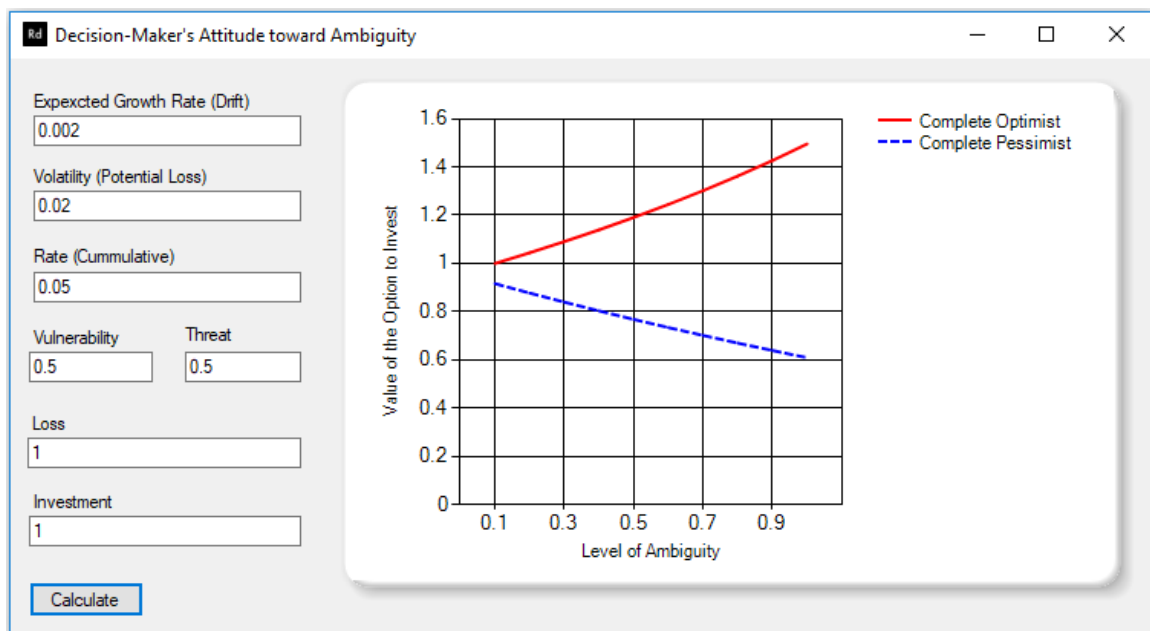
Նկ. 4.4.2 Ներդրման արժեքի և բարձր մակարդակի անորոշության հարաբերությունը երկփուլ մոդելի կիրառման դեպքում

Վերը նշվածի համաձայն ստացվում է, որ առաջին փուլում կատարվող ներդրման արժեքի նվազումը ավելի մեծ է, քան երկրորդ փուլում, ինչը նշանակում է, որ կազմակերպչությունը (որոշում կայացնողը) մեծ հավանականությամբ կհետաձգի կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվելիք ներդրումը: Նկ 4.4.3-ից երևում է, որ մեծ անորոշության աճը նվազեցնում է առաջին և երկրորդ փուլերում կիբեռանվտանգության ոլորտում կատարվող ներդրման արժեքը: Սակայն առաջին փուլում ներդրման արժեքը նվազում է ավելի մեծ չափով, քան երկրորդում կատարվելու դեպքում, քանի որ ներդրման արժեքը երկրորդ փուլում կախված է ոչ միայն ներդրումից ստացվող, այլև ներդրում չկատարելու դեպքում ստացվող եկամուտից: Հարկ է նշել, որ ներդրում չկատարելու դեպքում ստացվող եկամուտը կախված չէ երկրորդ փուլի ներդրման արժեքից: Ուստի, քանի որ ներդրման արժեքը առաջին փուլում ավելի շատ է նվազում քան երկրորդ փուլում, ապա կազմակերպչական սպասելը գնահատվում է որպես ավելի շահավետ:

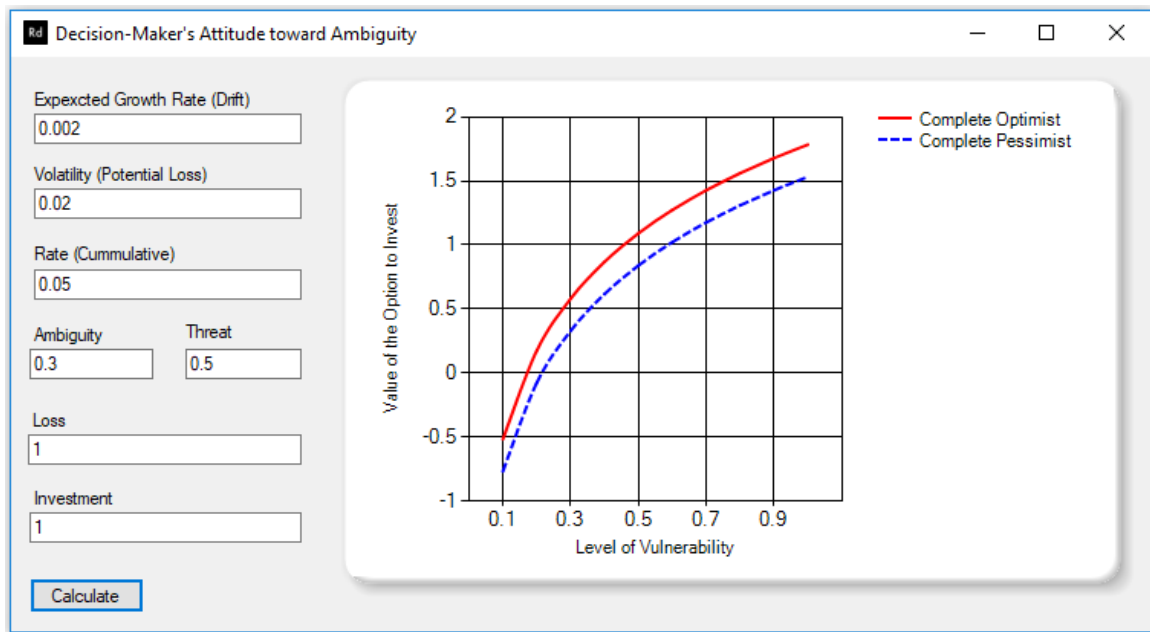
Օրինակ 4.4.3 [94, 110, 112, 113]: Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային որոշում կայացնելիս մեծ (բարձր մակարդակի) անորոշության նկատմամբ որոշում կայացնողի անձնական վերաբերմունքն արտահայտելու համար դիտարկենք 3.3-ում ներկայացված մոդելը: Ըստ այդմ դիտարկենք հետևյալ օրինակը, որում որպես խոցելիության մակարդակի նվազման ֆունկցիա կօգտագործենք Գորդոն-Լոբի (1.2.5) բանաձևը:

Սպասվող աճի գործակիցը μ շեղումն է, իսկ σ փոփոխելիությունը՝ պոտենցիալ կորուստը բնութագրող անորոշության աստիճանը: k պարամետրը մեծ անորոշության մակարդակն է, ($\alpha = 1$)-ը բացարձակ լավատեսության, իսկ ($\alpha = 0$)-ը՝ բացարձակ վատատեսության դեպքերն են: Նշենք, որ x -ը և y -ը (1.2.5)-ում ներդրման արդյունավետության գործակիցներն են: Հաշվարկների համար դիտարկենք նշված պարամետրերի հետևյալ արժեքները. $\sigma = 0.02$, $\mu = 0.002$, $\rho = 0.05$, $\nu = 0.5$, $\xi_z = 0.5$, $\lambda = 1$, $x = 1$, $y = 1$, $k = [0, 1]$ և $z = 1$: Ըստ այդմ նկ. 4.4.3-ում ներկայացված է որոշում կայացնողի ($\alpha = 1$) բացարձակ լավատեսության և ($\alpha = 0$) բացարձակ

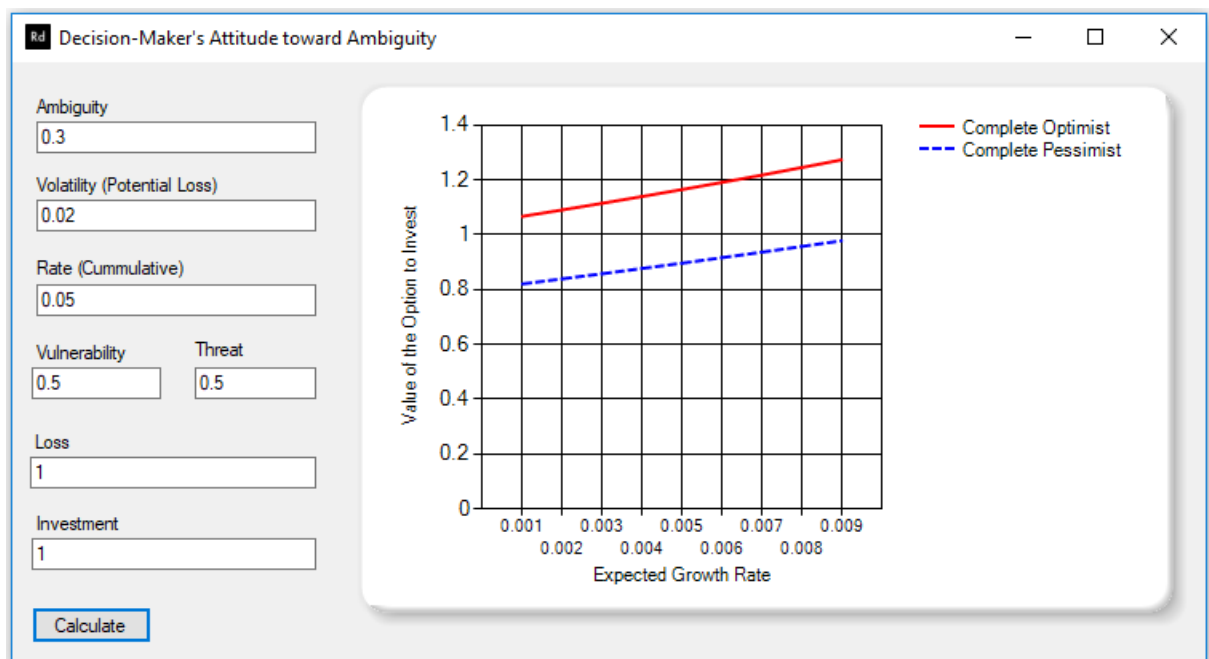
վատառեսությունն դեպքերի համար ներդրման $F(\xi_t/\alpha)$ օպցիոնի արժեքի ֆունկցիան բարձր մակարդակի անորոշության հաշվառմամբ: Համանման կերպով նկ. 4.4.4 - 4.4.6-ում ներկայացված են կիբեռանվտանգության ոլորտում բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումային որոշում կայացնողի ($\alpha = 1$) բացարձակ վատառեսության և ($\alpha = 0$) բացարձակ վատառեսության դեպքերի համար ներդրման $F(\xi_t/\alpha)$ օպցիոնի արժեքի ֆունկցիան համապատասխանաբար՝ խոցելիության մակարդակի, μ սպասվող աճման գործակցի (շեղման) և σ փոփոխելիության հաշվառմամբ:



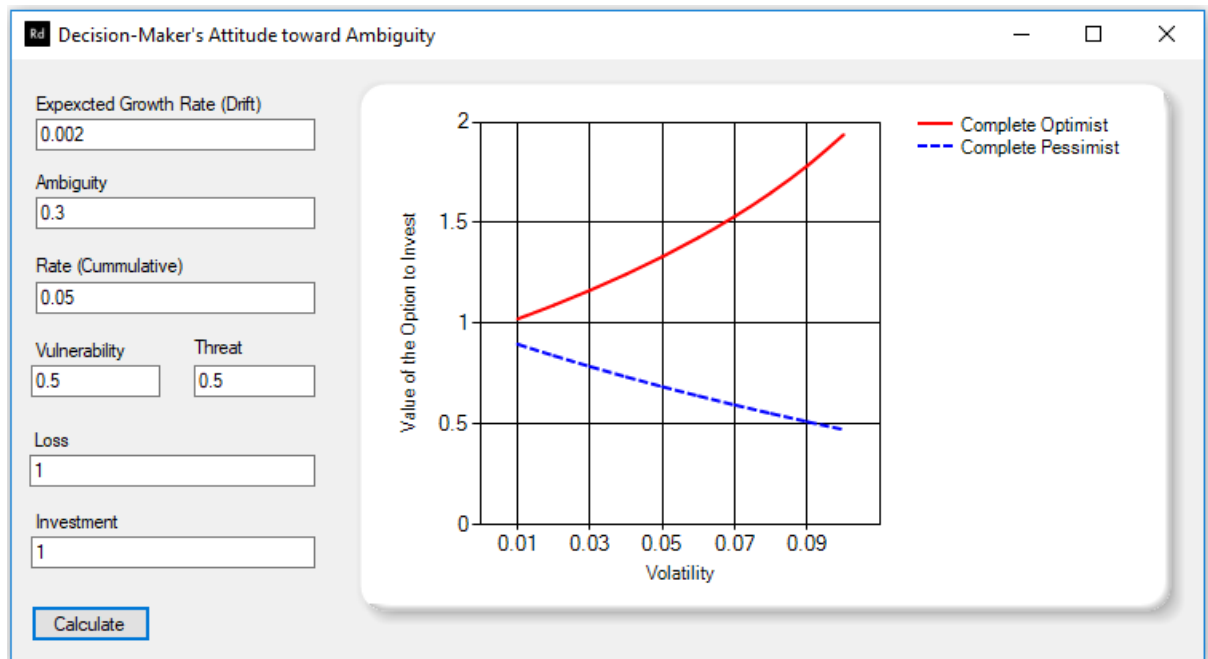
Նկ. 4.4.3 Ներդրման օպցիոնի արժեքի և բարձր մակարդակի անորոշության (k) հարաբերությունը



Նկ. 4.4.4 Ներդրման օպցիոնի արժեքի և խոցելի ու թյան մակարդակի (v) հարաբերությունը



Նկ. 4.4.5 Ներդրման օպցիոնի արժեքի և աճման գործակցի (μ) հարաբերությունը



Նկ. 4.4.6 Ներդրման օպցիոնի արժեքի և փոփոխելի իրության (σ) հարաբերությունը

Եզրակացություններ 4-րդ գլխի վերաբերյալ

- 1) Մշակվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման ատենախոսության շրջանակներում դիտարկվող մոդելների ավտոմատացման կիրառական ծրագրերի փաթեթ: Փաթեթը մշակված է Java ծրագրավորման լեզվով, նախատեսված է անհատական օգտագործման համակարգիչների համար:
- 2) Փաթեթում ներկայացված մոդելների աշխատանքը կազմակերպված է երկխոսային ռեժիմում՝ մենյուների, կառավարող վահանակների և ստեղծների միջոցով: Ստացվող արդյունքները ներկայացվում են թվային և գրաֆիկական ռեժիմներում: Փաթեթի օբյեկտային կոդմնորոշվածությունը հնարավորություն է տալիս հետագայում ընդլայնել այն ներդրումային այլ մոդելների համար մշակվող ծրագրերով:

3)

ԵԶՐԱՅԱՆԳՈՒՄ

- 1) Վերլուծվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման ժամանակակից մեթոդները: Բերվել է կիբեռսպառնալիքների ստատիկ մոդելները դինամիկական համատեքստում ընդհանրացնելու անհրաժեշտությունը: Արվել է եզրակացությունն պատահական պրոցեսների տեսության ժամանակակից գործիքարանի կիրառման, պատահական (ստոխաստիկ) դինամիկական ծրագրավորման և շեղումակայուն (ռոբաստ) որոշումների կայացման նպատակահարմարության վերաբերյալ, ինչպես նաև անտեսախտության շրջանակներում դիտարկված խնդիրների լուծման ավտոմատացված մոտեցման կիրառման անհրաժեշտության վերաբերյալ [60, 62]:
- 2) Հետազոտվել է ներդրումային խնդրի ոչ մոնոտոնությունն ու բարդությունը, ինչպես նաև անորոշության ազդեցությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վարքագծի վրա: Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդրի «ներդրում-անորոշություն» փոխկապվածության մոդելը: Բրոունյան և շոկեբրոունյան շաժումների հիման վրա մշակվել են կիբեռսպառնալիքների մոդելները բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում [83, 87, 94]:
- 3) Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը: Արվել է եզրակացությունն «սպասենք-տեսենք» ռազմավարության կիրառման նպատակահարմարության վերաբերյալ: Տրվել է երկփուլ մոդելի ընդհանրացումը բազմափուլության և անընդհատության համատեքստում: Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդիրների լուծման տարանջատման մոտեցումը, որը հիմնված է Բելմանի օպտիմալության սկզբունքի վրա: Առաջարկվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ

մոդելը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում [60, 99]:

- 4) Տրվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային ռազմավարության ներդրումային առանձնահատկությունները: Ուսումնասիրվել է ներդրումային նախագծի վրա ռիսկերի և բարձր մակարդակի անորոշության ազդեցությունը: Առաջարկվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում ներդրումների կատարման բազային մոդելը շոկեքրոունյան շարժման հիման վրա: Ներկայացվել է իրական օպցիոնների հիման վրա կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու օպտիմալ ժամանակի մոդելը [110, 112, 108, 107]:
- 5) Ներկայացվել է ներդրումային մոդելում առկա բարձր մակարդակի անորոշությունը (մոդելային անորոշություն): Տրվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումների կատարման մոդելը բարձր մակարդակի անորոշության պայմաններում: Մշակվել է ներդրումային մոդել՝ ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնական վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ: Տրվել են կիբեռանվտանգության ոլորտում շեղումակայուն (ռոբաստ) ներդրումային որոշումների կայացման մոդելները հարաբերական էնտրոպիայի և պատահական շեղումակայուն դինամիկական ծրագրավորման օգտագործմամբ [110, 112, 107, 120, 113]:
- 6) Մշակվել է կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման ատենախոսության շրջանակներում դիտարկվող մոդելների ավտոմատացման կիրառական ծարագերի փաթեթ: Փաթեթը մշակվել է Java ծրագրավորման լեզվով, նախատեսված է անհատական օգտագործման համակարգիչների համար: Փաթեթում ներկայացված մոդելների աշխատանքը կազմակերպված է երկխոսային ռեժիմում՝ մենյունների, կառավարող վահանակների և ստեղծների միջոցով: Ստացվող

արդյունքները ներկայացվում են թվային և գրաֆիկական
ռեժիմներում: Փաթեթի օբյեկտային կոդմնորոշվածությունը
հնարավորություն է տալիս հետագայում ընդլայնել այն
ներդրումային այլ մոդելների համարմշակվող ծրագրերով [60,
94, 99, 110, 112, 113, 121]:

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. DEMETZ L., BACHLECHNER D. To Invest or Not to Invest? Assessing the Economic Viability of a Policy and Security Configuration Management Tool. In: Böhme R. (eds) The Economics of Information Security and Privacy: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. - 25-47 p.
2. AI-HUMAIGANI M., DUNN D.B. A Model of Return on Investment for Information Systems Security. In Proceedings of the 46th IEEE International Midwest Symposium on Circuits & Systems. Cairo, 2003. - P. 483-485.
3. BODIN L.D., GORDON L.A., LOEB M.P. Evaluating Information Security Investments Using the Analytic Hierarchy Process // Communications of the ACM. - 2005. - Vol. 48, N. 2. - P. 78-83.
4. BUTLER S.A. Security Attribute Evaluation Method: A Cost-Benefit Approach. In Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering. Orlando: ACM, 2002. - P. 232-240.
5. CREMONINI M., MARTINI P. Evaluating Information Security Investments from Attackers Perspective: The Return-On-Attack (ROA). In Proceedings of the 4th Workshop on the Economics of Information Security (WEIS). Cambridge, 2005.
6. 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.
7. MIZZI A. Return on Information Security Investment: The Viability of an Anti-Spam Solution in a Wireless Environment // International Journal of Network Security. - 2010. - Vol. 10, N. 10. - P. 18-24.
8. SONNENREICH W., ALBANESE J., STOUT B. Return on Security Investment (ROSI): A Practical Quantitative Model // Journal of Research and Practice in Information Technology. - 2005. - Vol. 38, N. 1. - P. 239-252.
9. TALLAU L.J., GUPTA M., SHARMAN R. Information Security Investment Decisions: Evaluating the Balanced Scorecard Method // International Journal of Business Information Systems. - 2010. - Vol. 5, N. 1. - P. 34-57.
10. WANG J., CHAUDHURY A., RAO H.R. A Value-at-Risk Approach to Information Security Investment // Information Systems Research. - 2008. - Vol. 19, N. 1. - P. 106-120.

11. GORDON L.A., LOEB M.P. Economic Aspects of Information Security: An Emerging Field of Research // Information Systems Frontiers. - 2006. - Vol. 8, N. 5. - P. 335-337.
12. GORDON L.A., LOEB M.P. Budgeting Process for Information Security Expenditures // Communications of the ACM. - 2006. - Vol. 49, N. 1. - P. 121-125.
13. TATSUMI K., GOTO M. Optimal Timing of Information Security Investment: A Real Options Approach // Economics of Information Security and Privacy. - 2010. - P. 211-228.
14. GORDON L.A., LOEB M.P., LUCYSHYN W. Information Security Expenditures and Real Options: A Wait-and-See Approach // Computer Security Journal. - 2003. - Vol. 19, N. 2. - P. 1-7.
15. KARK K., ORLOW L.M., BRIGHT S. The Change and Configuration Management Software Market. Forrester Research, 2007.
16. HUANG C.D., HU Q., BEHARA R.S. An Economic Analysis of the Optimal Information Security Investment in the Case of Risk-Averse Firm // International Journal of Production Economics. - 2008. - Vol. 114, N. 2. - P. 793-804.
17. SKLAVOS N., SOURAS P. Economic Models and Approaches in Information Security for Computer Networks // International Journal of Network Security. - 2006. - Vol. 2, N. 1. - P. 14-20.
18. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության տեղն ու դերը տեղեկատվական անվտանգության համակարգում // Հայկական Բանակ. - 2016. - Հտ. 87, N. 1. - Էջ 48-55:
19. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Ռիսկերի կառավարումը և անորոշության պայմաններում բազմաչափանիշային որոշումների ընդունումը ռազմավարական նախագծերի կառավարման համատեքստում // Հայկական Բանակ. - 2017. - Հտ. 91-92, N. 1-2. - Էջ 125-138:
20. WILLEMSON J. Extending the Gordon and Loeb Model for Information Security Investment. In Proceedings of the 5th International Conference on the Availability, Reliability, and Security (ARES'10). Krakow, 2010. - P. 258-261.
21. MATSUURA K. Productivity Space of Information Security in an Extension of the Gordon-Loeb's Investment Model. In Proceedings of the 7th Workshop on the Economics of Information Security (WEIS). Hanover, 2008.

22. DECAMPS J., MARIOTTI T., VILLENEUVE S. Investment Timing under Incomplete Information // Mathematics of Operations Research. - 2005. - Vol. 30, N. 2. - P. 472-500.
23. CHENG X., RIEDEL F. Optimal Stopping under Ambiguity in Continuous Time // Mathematics and Financial Economics. - 2013. - Vol. 7, N. 1. - P. 22-68.
24. TSIAKIS T.K., PEKOS T. Analysing and Determining Return on Investment for Information Security. In Proceedings of the International Conference on Applied Economics (ICOAE). Chania, Crete, 2008. - P. 879–883.
25. LUKAS E., WELLING A. On the Investment-Uncertainty Relationship: A Game Theoretic Approach // Finance Research Letters. - 2013.
26. LUND D. How to Analyse the Investment-Uncertainty Relationship in Real Option Models? // Review of Financial Economics. - 2005. - Vol. 14, N. 3-4. - P. 311-322.
27. TING S.HM., EWALD C.O., WANG W.K. On the Investment–Uncertainty Relationship in a Real Option Model with Stochastic Volatility // Mathematical Social Sciences. - 2013. - Vol. 66, N. 1. - P. 22–32.
28. SARKAR S. On the Investment-Uncertainty Relationship in a Real Options Model // Journal of Economic Dynamics and Control. - 2000. - Vol. 24, N. 2. - P. 219–225.
29. ROUBAUD D., LAPIED A., KAST R. Real Options under Choquet-Brownian Ambiguity. Working Paper. HAL, 2010.
30. KAST R., LAPIED A. Dynamically consistent Choquet random walk and real investments. Working Paper, 2010.
31. HANSEN L.P., SARGENT T.J. Robustness - Princeton: Princeton University Press, 2008. - 464 p.
32. HANSEN L.P., SARGENT T.J., TURMUHAMBETOVA G., WILLIAMS N. Robust Control and Model Misspecification // Journal of Economic Theory. - 2006. - Vol. 128, N. 1. - P. 45-90.
33. HANSEN L.P., SARGENT T.J. Robustness, Estimation and Detection. Technical Report. Chicago, 2009.
34. GREEN M., LIMEBEER D. Linear Robust Control: Courier Corporation, 2012. - 538 p.
35. WOODFORD M., FRIEDMAN B. Handbook of Monetary Economics: Vol. 3A: North-Holland, 2011. - 827 p.
36. ORPHANIDES A., WILLIAMS J. Robust Monetary Policy and Imperfect Knowledge. In European Central Bank Working Paper Series, 2007. - 55 p.

37. LEVIN A.T., WILLIAMS J. Robust Monetary Policy with Competing Reference Models // Journal of Monetary Economics. - 2003. - Vol. 50, N. 5. - P. 945–975.
38. GILBOA I., SCHMEIDLER D. Maxmin Expected Utility with Non-Unique Prior // Journal of Mathematical Economics. - 1989. - Vol. 18, N. 2. - P. 141-153.
39. EPSTEIN L.G., SCHNEIDER M. Recursive Multiple-Priors // Journal of Economic Theory. - 2003. - Vol. 113, N. 1. - P. 1-31.
40. SIMS C.A. Pitfalls of a minimax Approach to Model Uncertainty // American Economic Review. - 2001. - Vol. 91, N. 2. - P. 51-54.
41. JACOBSON D.H. Optimal Stochastic Linear Systems with Exponential Performance Criteria and their Relation to Deterministic Differential Games // IEEE Transactions for Automatic Control. - 1973. - Vol. 18, N. 2. - P. 1124–1131.
42. WHITTLE P. Risk Sensitive Linear Quadratic Gaussian Control // Advances in Applied Probability. - 1981. - Vol. 13, N. 4. - P. 764–777.
43. ANDERSON E., HANSEN L.P., SARGENT T. A Quartet of Semi-Groups for Model Specification, Robustness, Prices of Risk, and Model Detection // Journal of the European Economic Association. - 2003. - Vol. 1, N. 1. - P. 68–123.
44. SKIADAS C. Robust Control and Recursive Utility // Finance and Stochastics. - 2003. - Vol. 7, N. 4. - P. 475-489.
45. YATES F., ZUKOWSKI L. Characterization of Ambiguity in Decision Making // Behavioral Science. - Vol. 21, N. 1. - P. 19-25.
46. LIU H., COLMAN A. Ambiguity Aversion in the Long Run: Repeated Decisions under Risk and Uncertainty // Journal of Economic Psychology. - 2009. - Vol. 30, N. 3. - P. 277-284.
47. TRAUTMANN S., VIEIDER F., WAKKER P. Preference Reversals for Ambiguity Aversion // Management Science. - 2011. - Vol. 30, N. 1. - P. 1320-1333.
48. CHAKRAVARTY S., ROY J. Recursive Expected Utility and the Separation of Attitudes Towards Risk and Ambiguity: An Experimental Study // Theory and Decision. - 2009. - Vol. 66, N. 3. - P. 199-228.
49. CHATEAUNEUF A., EICHBERGER J., GRANT S. Choice under Uncertainty with the Best and Worst in Mind: Neo-Additive Capacities // Journal of Economic Theory. - Vol. 137, N. 1. - P. 538-567.
50. KELLER R., SARIN R., SOUNDERPANDIAN J. An Examination of Ambiguity Aversion // Judgement and Decision Making. - 2007. - Vol. 2, N. 5. - P. 390-397.
51. GAGLIARDINI P., PORCHIA P., TROJANI F. Ambiguity Aversion and the Term

- Structure of Interest Rates // Review of Financial Studies. - 2009. - Vol. 22, N. 10. - P. 4157-4188.
52. GAJDOS T., HAYASHI T., TALLON J.M., VERGNAUD J.C. Attitude Toward Imprecise Information // Journal of Economic Theory.. - Vol. 140, N. 1. - P. 27-65.
 53. CHEW S.H., SAGI J.S. Small Worlds: Modeling Attitudes Toward Sources of Uncertainty // Journal of Economic Theory. - 2008. - Vol. 139, N. 1. - P. 1-24.
 54. KLIBANOFF P., MARINACCI M., MUKERJI S. A Smooth Model of Decision Making under Ambiguity // Econometrica. - Vol. 73, N. 6. - P. 1849-1892.
 55. ЦАРЕВ В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций. - СПб.: Питер, 2004. - 464 с.
 56. ВИЛЕНСКИЙ П.Л., ЛИВШИЦ В.Н., СМОЛЯК С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. - М.: Дело, 2004. - 888 с.
 57. БЕЛЕЦКИЙ В.А. Оценка эффективности инвестирования в информационную безопасность предприятия на основе нечетких множеств // Диссертационная работа. - 2012.
 58. ДЕМИДОВА ЛА., КИРАКОВСКИЙ ВВ., ПЫЛЬКИН АН. Принятие решений в условиях неопределенности (монография). - М.: Горячая линия - Телеком, 2012. - 290 с.
 59. EXPERT CHOICE. ExpertChoice for Collaborative Decision Making. Online. Cited 20.11.2017. Available from: <https://expertchoice.com/>.
 60. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Investment // Proceedings of Engineering Academy of Armenia. - 2015. - Vol. 12, N. 3. - P. 455-459.
 61. HERATH H.S., HERATH T.C. Investments in Information Security: A Real Options Perspective with Bayesian Postaudit // J. Manage. Inf. Syst. - 2008. - Vol. 25, N. 3. - P. 337-375.
 62. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Կ.Վ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարումն իրական տարբերակների միջոցով // Ճարտարապետության և շինարարության հայաստանի ազգային համալսարանի Տեղեկագիր. - 2016. - Հտ. 53, N. 4. - Էջ 78-81:
 63. DIXIT A.K., PINDYCK R.S. Investment under Uncertainty - Princeton: Princeton University Press, 1994. - 476 p.
 64. PINDYCK R.S. Irreversibility, Uncertainty, and Investment // Journal of Economic

Literature. - 1991. - Vol. 29, N. 3. - P. 1110-1148.

65. TRIGEORGIS L. Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation: MIT Press, 1996. - 427 p.
66. ТРУСОВ П.В. Введение в математическое моделирование. - М: Логос, 2007. - 440 с.
67. BANERJEE S. Mathematical Modeling: Models, Analysis and Applications. 1st Ed.: Chapman and Hall/CRC, 2014. - 276 p.
68. BENDER E.A. An Introduction to Mathematical Modeling. 1st Ed.: Dover Publications (Educa Books), 2000. - 272 p.
69. MEERSCHAERT M.M. Mathematical Modeling. 4th Ed.: Academic Press, 2013. - 384 p.
70. HEINZ S. Mathematical Modeling: Springer, 2011. - 460 p.
71. DYM C. Principles of Mathematical Modeling. 2nd Ed.: Academic Press, 2004. - 303 p.
72. MADUREIRA A., REIS C., MARQUES V. Computational Intelligence and Decision Making: Trends and Applications (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering): Springer, 2013. - 502 p.
73. GIBSON J.E., SCHERER W.T., GIBSON W.F. How to Do Systems Analysis. 1st Ed.: Wiley-Interscience, 2007. - 360 p.
74. FISH A.N., TAYLOR J. Knowledge Automation: How to Implement Decision Management in Business Processes. 1st Ed.: Wiley, 2012. - 180 p.
75. GIBSON J.E., TUTEUR F.B., RAGAZZINI J.R. Control System Components: McGraw-Hill Series in Control Systems Engineering: Literary Licensing, LLC, 2013. - 502 p.
76. ЛИМИТОВСКИЙ М.А. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках. - М: ЮРАЙТ, 2008. - 464 с.
77. МИЛЛЕР Б.М., ПАНКОВ А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 320 с.
78. ПУГАЧЕВ В.С., СИНИЦЫН И.Н. Теория стохастических систем. - М: Логос, 2004. - 1000 с.
79. БУЛИНСКИЙ А.В., ШИРЯЕВ А.Н. Теория случайных процессов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 399 с.
80. HASSLER U. Stochastic Processes and Calculus: An Elementary Introduction with Applications (Springer Texts in Business and Economics): Springer, 2015. - 391 p.

81. HARRISON J.M. Brownian Motion and Stochastic Flows - New York: John Wiley and Sons, 1985.
82. KARATZAS I., SHREVE S.E. Brownian Motion and Stochastic Calculus - New York: Springer-Verlag, 1998. - 496 p.
83. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Ներդրում-անորոշությունների հարաբերությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում // ՀՀ ԳԱԱ ԱՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2016. - Հտ. 69, N. 4. - Էջ 431-438:
84. WONG K.P. The Effect of Uncertainty on Investment Timing in a Real Options Model // Journal of Economic Dynamics and Control. - 2007. - Vol. 31, N. 7. - P. 2152–2167.
85. GRYGLEWICZ S., HUISMAN KJM., KORT PM. Finite Project Life and Uncertainty Effects on Investment // Journal of Economic Dynamics and Control. - 2008. - Vol. 32, N. 7. - P. 2191-2213.
86. GUTIERREZ O. Devaluating Projects and the Investment-Uncertainty Relationship // Journal of Economic Dynamics and Control. - 2007. - Vol. 31, N. 12. - P. 3881-3888.
87. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Threats under Ambiguity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering. - 2016. N. 2. - P. 36-42.
88. ГИХМАН ИИ., СКОРОХОД АВ. Стохастические дифференциальные уравнения. - Киев: Наукова думка, 1968. - 354 с.
89. ØKSENDAL B. Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications (Universitext): Springer, 2010. - 379 p.
90. NISHIMURA K.G., OZAKI H. Irreversible Investment and Knightian Uncertainty // Journal of Economic Theory. - 2007. - Vol. 136, N. 1. - P. 668–694.
91. DUFFIE D. Dynamic Asset Pricing Theory - Princeton: Princeton University Press, 2001. - 472 p.
92. EPSTEIN L.G., WANG T. Intertemporal Asset Pricing under Knightian Uncertainty // Econometrica. - 1994. - Vol. 62, N. 2. - P. 283-322.
93. SCHMEIDLER D. Subjective Probability and Expected Utility without Additivity // Econometrica. - 1989. - Vol. 57, N. 3. - P. 571-587.
94. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Investments under Ambiguity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio

Engineering. - 2017. N. 1. - P. 30-36.

95. SCHMEIDLER D. Integral Representation without Additivity // Proceedings of the American Mathematical Society. - 1986. - Vol. 97, N. 2. - P. 255-261.
96. FUH C.D., HU I., LIN S.K. Empirical Performance and Asset Pricing in Hidden Markov Models // Communications in Statistics: Theory and Methods. - 2003. - Vol. 13, N. 1. - P. 2477-2512.
97. БЕЛЛМАН Р., ДРЕЙФУС С. Прикладные задачи динамического программирования. - М.: Наука, 1964. - 457 с.
98. БЕЛЛМАН Р. Динамическое программирование. - М.: Ин. лит., 1960. - 400 с.
99. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիրառական տնտեսական ռիսկի ռաբոտում ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում // Հայ կապիտալ բանկ. - 2016. - Հտ. 88, N. 2. - Էջ 97-102:
100. COPELAND T., ANTIKAROV V. Real Options: A Practitioner's Guide: Thomson, 2003. - 370 p.
101. БАЙН С. Опционы: Полный курс для профессионалов. 2nd Ed. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. - 465 с.
102. GORDON L.A., LOEB M.P. Managing Cybersecurity Resources: A Cost-Benefit Analysis: The Mcgraw-Hill Homeland Security Series, 2006. - 224 p.
103. TROJANOWSKA M., KORT P.M. The Worst Case for Real Options // Journal of Optimization Theory and Applications. - 2010. - Vol. 146, N. 3. - P. 709–734.
104. MAENHOUT P. Robust Portfolio Rules and Detection-Error Probabilities for a Mean-Reverting Risk Premium // Journal of Economic Theory. - 2006. - Vol. 128, N. 1. - P. 136-163.
105. MAENHOUT P. Robust Portfolio Rules and Asset Pricing // Review of Financial Studies. - 2004. - Vol. 17, N. 4. - P. 951-983.
106. ASANO T. Irreversibilities and the Optimal Timing of Environmental Policy under Knightian Uncertainty. Discussion Paper. Osaka University, 2005.
107. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիրառական տնտեսական ռիսկի ռաբոտում ներդրումների մոդելավորումը ռեալ օպցիոնների կիրառման միջոցով // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր. - 2017. - Հտ. 14, N. 3. – Էջ 484-487:
108. GRIGORYAN A.H. Modeling the Impact of Risk on Cybersecurity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering. - 2017. N. 2. –

P. 70-75.

109. CHEN Z., EPSTEIN L.G. Ambiguity, Risk, and Asset Returns in Continuous Time // *Econometrica*. - 2002. - Vol. 70, N. 4. - P. 1403-1443.
110. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ապահովման ներդրումային մոդել՝ էական անորոշության պայմաններում // *ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա*. - 2017. - Հտ. 70, N. 1. - Էջ 115-122:
111. SCHRÖDER D. Investment under Ambiguity with the Best and Worst in Mind // *Mathematics and Financial Economics*. - 2011. - Vol. 4, N. 2. - P. 107-133.
112. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացումը մեծ անորոշության պայմաններում // *ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա*. - 2017. - Հտ. 70, N. 3. - Էջ 384-390:
113. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Ծեղումակայուն ներդրումային որոշումների մոդելավորումը կիբեռանվտանգության ոլորտում // *Հայկական Բանակ*. - 2017. - Հտ. 93, N. 3. - Էջ 83-90:
114. FLOR C.R., HESEL S. Robust Investment Decisions and the Value of Waiting to Invest. Midwest Finance Association 2012 Annual Meetings Paper. - 2011.
115. MCDONALD R., SIEGEL D. The Value of Waiting to Invest // *The Quarterly Journal of Economics*. - 1986. - Vol. 101, N. 4. - P. 707-727.
116. RIEDEL F. Optimal Stopping under Ambiguity in Continuous Time. Working Papers. - 2010.
117. SCHWARTZ E., TRIGEORGIS L. Real Options and Investment under Uncertainty: Classical Readings and Recent Contributions. MIT Press, 2001. – 881 p.
118. ALILI L., KYPRIANOU A. Some Remarks on First Passage of Levy Process. The American Put and Pasting Principles // *The Annals of Applied Probability*. - 2005. - Vol. 15, N. 3. - P. 2062-2080.
119. MIAO J., WANG N. Risk, Uncertainty, and Option Exercise // *Journal of Economic Dynamics and Control*. - 2010. - Vol. 35, N. 1. - P. 442-461.
120. ГРИГОРЯН А.Г. Энтропия как мера модельной неопределенности в стохастических экономических системах // *Проблемы устойчивого социально-экономического развития Республики Армения*. - 2013. - Том. 4, N. 20. - С. 203-206.

121. GRIGORYAN A.H. Structure of Decision Support System for IT Investment Projects Evaluation // European Academy: Collection of Scientific Articles. - 2013. - Vol. 2, N. 2. - P. 193-198.
122. BOOCH G. Object-Oriented Analysis and Design with Applications. 3rd Ed.: Addison-Wesley Professional, 2007. - 720 p.
123. MAK S., BAKKER P. Java 9 Modularity: Patterns and Practices for Developing Maintainable Applications: O'Reilly Media, 2017. - 300 p.
124. MARTIN R.C. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship: Prentice Hall, 2008. - 464 p.
125. MARTIN R.C. The Clean Coder: A Code of Conduct for Professional Programmers: Prentice Hall, 2011. - 256 p.
126. BIFFL S., AURUM A., BOEHM B., ERDOGMUS H., GRUNBACHER P. Value-Based Software Engineering: Springer, 2006. - 388 p.
127. ГАГАРИНА Л., КОКОРЕВА Е., ВИШАДУЛ Б. Технология разработки программного обеспечения. –М.: Форум, 2008. - 392 с.
128. BLOCH J. Effective Java. 2nd Ed.: Addison-Wesley, 2008. - 346 p.
129. DEITEL P.J., DEITEL H. Java 9 for Programmers. 4th Ed.: Prentice Hall, 2017. - 1120 p.
130. SCHILDT H. Java: The Complete Reference. 10th Ed.: McGraw-Hill Education, 2017. - 1344 p.
131. MURACH J., BOEHM A., DELAMATER M. Murach's Java Programming. 5th Ed.: Mike Murach and Associates, 2017. - 800 p.
132. SHARAN K. Java 9 Revealed: For Early Adoption and Migration: Apress, 2017. - 520 p.
133. LARMAN C. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development: Dorling Kindersley Pvt Ltd, 2008. - 736 p.
134. FARRELL J. An Object-Oriented Approach to Programming Logic and Design. 4th Ed.: Course Technology, 2012. - 560 p.
135. DENNIS A., WIXOM B.H., TEGARDEN D. Systems Analysis and Design with UML. 4th Ed.: Wiley, 2012. - 608 p.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ. ՕՊՑԻՈՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐ

Օպցիոնը ֆինանսական պայմանագիր է, որը գնորդին իրավունք է տալիս կանխորոշված գնով որոշակի ժամանակում գնել կամ վաճառել բազային ակտիվ (ապրանք, ակտիվ և այլն): Օպցիոնը հնարավորություն է տալիս շուկայական պայմաններին հարմարեցնել յուրաքանչյուր մասնակցի անհատական ռազմավարությունը, ինչը ներդրողների համար կարևոր պայման է հանդիսանում:

Գոյություն ունի օպցիոնի երկու տեսակ: Ակտիվի գնման իրավունք տվող օպցիոնները կոչվում են «քոլ» (call option), իսկ վաճառքի իրավունք տվող օպցիոնները՝ «փուլ» (put option): Քոլ օպցիոնն իրավունք է տալիս գնել ակտիվը կամ հրաժարվել գնումից, իսկ փուլ օպցիոնը՝ վաճառել ակտիվը կամ հրաժարվել վաճառքից: Օպցիոնի վաճառքի գինը կոչվում է օպցիոնի հավելավճար, որը ամենաշահավետ գործողության տարբերակի ընտրության հնարավորություն է տալիս: Օպցիոնին բնորոշ են հետևյալ առանձնահատկությունները.

- օպցիոնի ոճը,
- առևտրի միավորը,
- պայմանագրի մարման ամիսը,
- պայմանագրի մարման օրը,
- իրականացման օրը,
- օպցիոնի գնի գնանշման կարգը,
- գնի նվազագույն տատանումը,
- գրանցողի հավելավճարի վճարման կարգը,
- օպցիոնի իրականացման կկարգը,
- սահմանափակումներ:

Առքի օպցիոնը հաճախորդին ապահովագրում է փոխարժեքի բարձրացումից: Օպցիոնն ձեռք բերելու դեպքում հաճախորդն իրավունք է ստանում նախապես սահմանված օրը բանկից գնել արտարժույթ օպցիոնի ձեռքբերման (պայմանագրի կնքման) օրը

բանկի կողմից սահմանված տվյալ արժույթի վաճառքի փոխարժեքով, իսկ բանկը պարտավորվում է հաճախորդի պահանջով նրան վաճառել պահանջվող արտարժույթը նշված փոխարժեքով: Ընդ որում, հաճախորդն իրավունք ունի հրաժարվել գործարքից, եթե օպցիոնի իրականացման օրը շուկայում առկա է ավելի ցածր փոխարժեք, քան սահմանված է օպցիոնի ձեռքբերման պայմանագրով:

Վաճառքի օպցիոնը հաճախորդին ապահովագրում է փոխարժեքի անկումից: Օպցիոն ձեռք բերելու դեպքում հաճախորդն իրավունք է ստանում նախապես սահմանված օրը բանկին վաճառել արտարժույթ օպցիոնի ձեռքբերման (պայմանագրի) կնքման օրը բանկի կողմից սահմանված տվյալ արժույթի առքի փոխարժեքով, իսկ բանկը պարտավորվում է հաճախորդի պահանջով նրանից գնել առաջարկվող արտարժույթը նշված փոխարժեքով: Ընդ որում, հաճախորդն իրավունք ունի հրաժարվել գործարքից, եթե օպցիոնի իրականացման օրը շուկայում առկա է ավելի բարձր փոխարժեք, քան սահմանված է օպցիոնի ձեռքբերման պայմանագրով:

Օպցիոն պայմանագրի ձեռքբերման համար պայմանագրի կնքման օրը հաճախորդը բանկին վճարում է ֆիքսված գումարի պարգևավճար:

Նախապես սահմանված գինը, որով ապագայում գնվելու կամ վաճառվելու է ակտիվը, կոչվում է օպցիոնի իրականացման գին կամ «սթրայք» գին (strike price): Իրականացնել օպցիոն նշանակում է պայմանագրի համաձայն գնել կամ վաճառել ակտիվ: Ժամանակը կամ ժամանակահատվածը, որի լրանալուց հետո օպցիոնը չի կարող իրականացվել, կոչվում է օպցիոնի սպառման օր (expiration day): Եթե մինչ այդ պահը օպցիոն գնողը չի իրացրել իր իրավունքը, ապա օպցիոնը կորցնում է ուժը:

Օպցիոնները կարելի է տարբերակել նաև ըստ իրականացման ոճի.

- Ամերիկյան օպցիոն, որը թույլ է տալիս տիրոջը ցանկացած ժամանակ իրացնել ակտիվի գնման կամ վաճառքի իր իրավունքը մինչև օպցիոն պայմանագրի ժամկետի լրանալը:

- Եվրոպական օպցիոն, որը թույլ է տալիս տիրոջն իրացնել ակտիվի գնման կամ վաճառքի իր իրավունքը միայն ժամկետի ավարտին (օպցիոն պայմանագրի ժամկետի և րանալու պահին):

Տեսականորեն օպցիոնները բաժանվում են երկու խմբի՝ արժույթային (ֆինանսական) օպցիոններ և իրական օպցիոններ:

Արժույթային օպցիոն

Արժույթային օպցիոնը գնորդի և վաճառողի միջև պայմանագիր է, որը գնորդին իրավունք է տալիս, բայց չի պարտադրում ձեռք բերել արժույթի որոշակի ծավալ կանխորոշված գնով և նախապես սահմանված ժամկետում՝ անկախ արժույթի շուկայական գնից, և պարտավորեցնում է վաճառողին արժույթը գնորդին փոխանցել սահմանված ժամկետի ընթացքում՝ գնորդի ցանկությամբ գործարք իրականացնելու պահանջով:

Արժույթային օպցիոնը առևտրային բացառիկ գործիք է, որը հավասարաչափ պիտանի է ինչպես առևտրի, այնպես էլ ռիսկերի ապահովագրության համար:

Իրական օպցիոն

Իրական օպցիոնը որևէ կառավարչական որոշում կայացնելու իրավունք է, բայց ոչ պարտականություն: Ի տարբերություն ֆինանսական օպցիոնների՝ իրական օպցիոնները կիրառվում են ռեալ ակտիվներում: Իրական օպցիոնների կիրառումը կառավարման և որոշումների կայացման գործում հնարավորություն է տալիս ևրացուցիչ ճկունություն հաղորդել գործընթացին: Կիրառական տեսանկյունից իրական օպցիոնները կարելի է բաժանել հետևյալ տեսակների.

- **Ընդհանրան օպցիոն:** Նախագծերի իրականացման ժամանակ կարող են առաջանալ կրիտիկական իրադրություններ, որոնց արդյունքում նպատակահարմար է ընդհատել նախագծը:

- **Հետաձգման օսքիոն:** Անհրաժեշտ ռեսուրսների բացակայության և պահանջների թերի վերլուծության պատճառով նախագծի իրականացումը կարող է հետաձգվել :
- **Ընդլայնման օսքիոն:** Նախագծի իրականացման բարեհաջող ընթացքի դեպքում կարելի է ընդլայնել նախագծի ծավալները, ֆունկցիոնալ հատկությունները, ֆինանսական աղբյուրները և այլն:
- **Անցման օսքիոն:** Նախագծի իրականացման ժամանակ փոփոխություններով պայմանավորված (տեխնոլոգիաների, միջավայրի, շուկայի փոփոխությունները և այլն) կարելի է անցում կատարել մի նախագծից մյուսին:

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ
ՊԱՇՏՊԱՆԱԿԱՆ ԱԶԳԱՅԻՆ
ՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ОБОРОНЫ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
NATIONAL DEFENSE RESEARCH UNIVERSITY
MINISTRY OF DEFENSE
REPUBLIC OF ARMENIA

ք. Երևան, Կ. Ուլնեցու փ. 56/6
г. Ереван, ул. К. Улнеци 56/6
K. Ulnetsi str. 56/6, Yerevan

Հեռ. (+37410) 28-73-21
Ֆաքս. (+37410) 28-37-01
« 21 » 11 2017 թ.
✓ 390

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

Սույն ակտը կազմված է առ այն, որ Արման Հրանտի Գրիգորյանի «Ներդրումների վերաբերյալ ռազմավարական վճիռների կայացման ավտոմատացումը կիրեռանվտանգության ոլորտում» թեմայով ատենախոսական աշխատանքում ստացված մոդելներն ու մոտեցումները և դրանց հիման վրա մշակված կիրառական ծրագրերի փաթեթն օգտագործվել են ՀՀ ՊՆ Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանում գիտահետազոտական ու վերլուծական-կանխատեսումային նախագծերի կառավարման նպատակով, առաջին հերթին՝ ՀՀ կիրեռանվտանգության ազգային ռազմավարության նախագծի մեթոդաբանական մշակման ժամանակ:

Հարգանքով՝

գեներալ-լեյտենանտ, պրոֆեսոր

ՀՀ ՊՆ ՊԱՇՏՊԱՆԱԿԱՆ ԱԶԳԱՅԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ՊԵՏ



Հ. Ս. ՔՈԹԱՆՋՅԱՆ