

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄՀԵՐ ԳԱԳԻԿԻ ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ԲԱՐԴՈՒԹՅԱՆ ՏՆՏԵՍԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐԸ
ՏՎՅԱԼԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԻՔԱԿԱԶՄՈՎ**

Ը.00.08 - «Տնտեսագիտության մաթեմատիկական մոդելավորում» մասնագիտությամբ
տնտեսագիտության թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2025

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝

Առաքելյան Արամ Հմայակի

տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Թավադյան Աշոտ Աղասու

տնտեսագիտության դոկտոր, պրոֆեսոր

Ղուկասյան Գայանե Մամիկոնի

ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական
համալսարան

Ատենախոսության հրապարակային պաշտպանությունը կայանալու է 2025 թվականի մայիսի 16-ին, ժամը 13³⁰-ին Երևանի պետական համալսարանում (0025, ք. Երևան, Աբովյան փ. 52) գործող ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԲԿԳԿ-ի Տնտեսագիտության 015 մասնագիտական խորհրդի նիստում:
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Երևանի պետական համալսարանի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2025 թվականի ապրիլի 14-ին:

ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԲԿԳԿ-ի Տնտեսագիտության 015 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար,
տնտեսագիտության թեկնածու, դոցենտ

Աննա Հովիկի Հակոբջանյան

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Հետազոտության թեմայի արդիականությունը: Ավելի քան երեք տասնամյակ իրականացված բարեփոխումներն անցումային երկրների մեծ մասում, այդ թվում՝ ՀՀ-ում, չեն հանգեցրել համաշխարհային տեխնոլոգիական զարգացմանը համահունչ տնտեսության կառուցվածքային հիմնարար փոփոխություններին, մարդկանց կենսամակարդակի ներառական նշանակալի բարելավմանը: Ակնհայտ է դարձել, որ տնտեսական բարգավաճումը չի կարող մոդելավորվել և վերլուծվել միայն գոյություն ունեցող նորդասական արևմտակցիայի սկզբունքներով:

Վերջին՝ ավելի քան երեք տասնամյակի ընթացքում աստիճանաբար ձևավորվել, իսկ ներկայում համընդհանուր ընդունելության է արժանացել տնտեսության ուսումնասիրության այլընտրանքային մոտեցումը՝ բարդության տնտեսագիտության տեսությունը, ըստ որի՝ «տնտեսությունը երբեք չի գտնվում հավասարակշռության վիճակում, որ տնտեսագիտության մեջ տվյալագիտական վերլուծությունները անհրաժեշտ են և որ տնտեսությունն ինչ-որ տրված ու ձևավորված բան չէ, այլ գտնվում է ձևավորման գործընթացում՝ մշտապես զարգացող հաստատությունների, կարգավորող կառուցակարգերի և տեխնոլոգիական նորարարությունների հիման վրա»¹: Այս տեսանկյունից, բարդության տնտեսագիտությունը կարող է օգնել՝ հասկանալու ազգային տնտեսությունների զարգացումն այնպիսի չափումների միջոցով, որոնք կենտրոնանում են գործոնների ավելի ընդարձակ շրջանակի վրա: Սա հատկապես կարևոր է ՀՀ Կառավարության 2021-2026թթ. ծրագրով սահմանված թիրախների խորապատկերին. «միջնաժամկետ հատվածում տնտեսական բարդության ցուցանիշը -0.39-ից հասցնել 0.1 միավորի և ստեղծել հիմքեր՝ 10 տարվա ընթացքում դասվելու բարձր տնտեսական բարդություն ունեցող երկրների շարքին»²: Հետևաբար, խոսքը վերաբերում է մինչև վերջերս իրականացվող տնտեսական քաղաքականության վերաիմաստավորմանը նոր՝ բարդության տնտեսագիտության պարադիգմի լույսի ներքո, ինչն էլ պայմանավորում է այդ բնագավառում հետազոտությունների կարևորությունը՝ բարդ տնտեսական համակարգերը և դրանց գործառնելու կառուցակարգերն ուսումնասիրելու տեսանկյունից:

Տնտեսագիտական շրջանականներում ավելի ակնհայտ է դառնում, որ բարդության ըմբռնումն առաջարկում է նոր գիտական հենք, որում տնտեսական համակարգերն ընկալվում են որպես բարդ համակարգեր, որոնց առնչությամբ հնարավոր չէ դատողություններ անել ավանդական, նորդասական տնտեսագիտական մտքի վրա հիմնված վերլուծական շրջանակների և մեթոդաբանությունների միջոցով: Բարդության մեջ կիրառվող հիմնական մեթոդաբանությունները նշանակալի տարբերվում են ավանդական տնտեսագիտության մեջ օգտագործվողներից: Դրանք ներառում են տվյալագիտական մոդելավորում. մեքենայական ուսուցման, արհեստական բանականության, արհեստական նեյրոնային ցանցերի կիրառում մեծ տվյալների վրա, որոնք կարող են լինել որոշակի կառուցվածքով կամ առանց կառուցվածքի: Այսպիսով, ատենախոսության թեմայի արդիականությունը պայմանավորված է անորոշության պայմաններում տնտեսության՝ որպես բարդ համակարգի գործունեությունը նկարագրելու համար մաթեմատիկական մոդելների և մեթոդների մշակման անհրաժեշտությամբ: Վերոնշյալը, ինչպես նաև ՀՀ-ում նկարագրված հիմնախնդրի ոչ բավարար ուսումնասիրվածությունը, կանխորոշել են հետազոտական թեմայի ընտրությունը, դրա նպատակը և խնդիրները, հետազոտության մեթոդաբանությունը և աշխատանքի կառուցվածքը:

¹ Arthur, B. W. (2014) "Complexity Economics: A New Framework for Economic Thought," to appear in Complexity and the Economy, W. B. Arthur, ed., Oxford Univ/ Press.

² ՀՀ Կառավարության 2021-2026 թթ. ծրագիր (Հավելված ՀՀ կառավարության 2021 թվականի օգոստոսի 18-ի N 1363 - Ա որոշման), էջ 29-30:

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները: Հետազոտության նպատակը տվյալագիտության գործիքակազմի հիման վրա, բարդ տնտեսական համակարգերի վերլուծության և մոդելավորման մաթեմատիկական ապարատի զարգացումն է:

Ձևակերպվել և լուծվել են սահմանված նպատակով պայմանավորված հետևյալ խնդիրները.

- կիրառել համակարգայնության և բարդության սկզբունքները՝ տնտեսական համակարգը որպես փոխկապված և փոխկախյալ գործակալների ամբողջություն դիտարկելու խնդիրները լուծելու համար.
- ուսումնասիրել տնտեսական համակարգը՝ դրա բարդության և դինամիկ փոփոխության համատեքստում. մշակել մեծ ծավալի տվյալներ և սկզբնական տեղեկատվություն՝ կառուցքավորելով դրա դետերմինանտները և ներկայացնել դինամիկ համակարգն ինտեգրված տեսքով.
- ուսումնասիրել բարդ տնտեսական համակարգի առանձնահատկությունները՝ դրա գործակալների փոխգործակցության և փոխազդեցության տեսանկյունից.
- ուսումնասիրել առանձին երկրների միջև միջոլորտային դինամիկ փոխգործակցության և փոխազդեցության առանձնահատկությունները՝ սպառնալիքների և հակասպառնալիքների քանակական գնահատականների հիման վրա.
- գնահատել բարդության տնտեսագիտության կիրառման արդյունավետությունը տնտեսական գործակալների դինամիկ վարքի առկա մոդելների վրա և մեկնաբանել այդ մոդելները՝ բարդության տնտեսագիտության հիման վրա.
- գնահատել երկրի դինամիկ արտաքին տնտեսական գործունեության արդյունավետությունը և հիմնավորել դրա ներկայացման հնարավորությունը՝ բարդության տնտեսագիտության մոդելի կիրառմամբ.
- գնահատել տնտեսական աճի դինամիկական և ապացուցել դրա վերլուծության արդյունավետությունը՝ բարդության տնտեսագիտության մոդելի ներկայացմամբ.
- բարդության տեսագիտության համատեքստում դիտարկել ռազմական ծախսերի մոդելավորման մոտեցումը:

Հետազոտության առարկան և օբյեկտը: Հետազոտության օբյեկտը բարդ տնտեսական համակարգերն են, դրանց կառուցվածքը և հատկանիշները: Հետազոտության առարկան, անորոշության և անհավասարակշռության պայմաններում, բարդ տնտեսական համակարգերի մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդներն են՝ տվյալագիտության գործիքակազմի կիրառմամբ:

Առենախոսության տեսամեթոդաբանական և տեղեկատվական հիմքերը: Հետազոտության տեսական հիմքը բարդության տնտեսագիտության, բարդ տնտեսական համակարգերի տնտեսամաթեմատիկական մոդելավորման բնագավառի հեղինակավոր գիտնականների աշխատություններն, ինչպես նաև հետազոտվող բնագավառի հիմնախնդիրներին առնչվող կիրառական աշխատանքները:

Հետազոտության մեթոդաբանական հիմքը համակարգային և գործառութային մոտեցումներն են: Առաջադրված խնդիրները լուծելու համար օգտագործվել են համակարգային վերլուծության մեթոդներ, մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդներ, տեղեկատվության մշակման վիճակագրական մեթոդներ: Ելակետային դիրքորոշումն այն է, որ ճանաչողության օբյեկտը դիտարկվում է որպես բարդ զարգացող համակարգ, որը գործում է այլ համակարգերի միջավայրում և փոխազդում դրանց հետ:

Որպես տեղեկատվության ներկայացման հիմնական մոդելներ օգտագործվել են հավանական, մեքենայական ուսուցման, ինչպես նաև խորը ուսուցման մոդելներ: Հաշվարկներն իրակա-

նացվել են Python, MS Excel ծրագրային գործիքների միջոցով: Օգտագործվել են պաշտոնական փաստաթղթեր, ՀՀ վիճակագրական կոմիտեի, Համաշխարհային բանկի, Արժույթի միջազգային հիմնադրամի, UNCTAD-ի հրապարակումները և տվյալների բազաները, Հարվարդի Աճի լաբորատորիայի Economic Complexity Index-ի և The Observatory of Economic Complexity մեթոդաբանություններով ստացված համաթվերը:

Հետազոտության հիմնական գիտական արդյունքները և նորույթը: Սույն հետազոտությունը ՀՀ-ում բարդության տնտեսագիտության համապարփակ ուսումնասիրության և տվյալագիտության գործիքակազմով մոդելավորման առաջին փորձն է: Հետազոտությամբ ստացված արդյունքներից որպես նորույթ կարող է դիտարկվել հետևյալը.

- Ռիչարդսոնի բազմակողմ սպառազինությունների մրցավազքի մոդելը փոփոխվել է ՋԼՄ-ների հրապարակումներում պարունակվող տվյալների հիման վրա՝ կիրառելով Հայաստանի և տարածաշրջանային խաղացողների ռազմական ծախսերի դինամիկան.
- մշակվել է արժեթղթերի շուկայում ներդրումային վարքագծի մոդելային մոտեցում՝ հաշվի առնելով իռացիոնալ ներդրողի և անհավասարակշիռ շուկայի ենթադրությունները՝ տնտեսական զարգացմանն ուղղված անցումային տնտեսությունների քաղաքականության մեջ բարդության տնտեսագիտության պատկերացումների կիրառման ավելի լայն համատեքստում.
- առաջարկվել է բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման մոտեցում՝ հիմնված «4W» հայեցակարգի շրջանակի և փոփոխականների պատճառական կապերի ուղղությունների ըմբռնման վրա.
- առաջարկվել է ՀՀ տնտեսական բարդության մակարդակի բարձրացման հայեցակարգ՝ հիմնված Փիթեր Հավիթի բազմակողմ շումպետերյան աճի մոդելի վրա, որը ենթադրում է ընթացիկ տեխնոլոգիական սահմանից երկրի հեռավորության նվազեցում՝ «ակումբային կոնվերգենցիայի» միջոցով դեպի բարդ արտադրանք դիվերսիֆիկացմամբ:

Հետազոտության տեսական և կիրառական նշանակությունը: Հետազոտության տեսական նշանակությունն այն է, որ տնտեսական համակարգերի մոդելավորման համար բարդության տնտեսագիտության մոտեցումներն ու սկզբունքները հնարավորություն են ընձեռում ընդլայնելու մոդելների առկա դասերը՝ հիմնված բարդության տնտեսագիտության վրա, ինչը կարող է դիտվել որոշակի ներդրում բարդ տնտեսական համակարգերի մոդելավորման տեսության ոլորտում: Այսպիսի մոտեցում թվում է ավելի հեռանկարային՝ առանց կառուցվածքի և կառուցվածքով տվյալների հիման վրա տվյալագիտական մոդելավորման մեթոդների կիրառման տնտեսական դինամիկայի առնչությամբ:

Ատենախոսության գործնական նշանակությունը, բարդության տնտեսագիտության սկզբունքների օգտագործմամբ, մոդելավորման ներկայացված մոտեցումներն են, ինչպես նաև տարբեր դասերի տնտեսական համակարգերի գործնական մոդելավորման խնդիրների լուծման գործիքները: Հետազոտության արդյունքները կարող են օգտագործվել բարդ տնտեսական համակարգերի տնտեսական գործակալների վարքագիծը ուսումնասիրելու համար՝ տնտեսական բարդության մոդելների տեսքով: Միաժամանակ, ստացված արդյունքների կարող են օգտակար լինել ՀՀ Կառավարության 2021-2026թթ. ծրագրով սահմանված, երկրի տնտեսական բարդության աստիճանի բարձրացման, ռազմավարական նպատակին հասնելու տնտեսական կառուցակարգի մշակման գործում:

Հետազոտության փորձարկումը և հրապարակումները: Հետազոտության հիմնական արդյունքները քննարկվել են ԵՊՀ Տնտեսագիտության մեջ մաթեմատիկական մոդելավորման

ամբիոնի նիստերում, զեկուցվել են ՀՀ ՊՆ Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանի «Հայկական ռազմարդյունաբերության զարգացման ժամանակայից մարտահրավերները և հնարավորությունները» գիտաժողովում (Երևան, դեկտեմբեր, 2019 թ.), Հայկական տնտեսական ընկերակցության տարեկան նստաշրջանում (Երևան, հունիս, 2023 թ.): Ատենախոսական թեմայի շրջանակներում հրապարակվել է 10 գիտական աշխատանք:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը: Աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլխից, եզրակացությունից, օգտագործված գրականության ցանկից, պարունակում է 36 գծապատկեր, 15 աղյուսակ, 21 հավելված: Առանց հավելվածների՝ աշխատանքի ծավալը կազմում է 114 էջ: Աշխատանքը շարադրված է անգլերենով:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածության մեջ հիմնավորվել են թեմայի արդիականությունը և գործնական նշանակությունը, սահմանվել է հետազոտության նպատակը, ձևակերպվել են նպատակից բխող խնդիրները, ներկայացվել են աշխատանքի տեսամեթոդաբանական և տեղեկատվական հիմքերը, գիտական նորոյթը, ստացված արդյունքների տեսական և կիրառական նշանակությունը:

Առաջին՝ «**Բարդության տնտեսագիտության հիմունքները և մոդելավորման մոտեցումները**» գլխում հեղինակը ներկայացում է բարդության տնտեսագիտության հիմքերը, ուսումնասիրության հայեցակարգերն ու մեթոդները, անդրադառնում է տնտեսագիտության մեջ բարդության և բարդության մոդելավորման հարցերին, տնտեսագիտության և ֆինանսների բնագավառներում տվյալագիտության կիրառություններին:

Բարդության տնտեսագիտությունը՝ համեմատաբար նոր պարադիգմ է, ծագել է Սանտա Ֆեինստիտուտից (Նյու Մեքսիկո, ԱՄՆ) 1980-ականների վերջին, որն օգտագործում է բարդության տեսության մոդելները՝ տնտեսությունը որպես բարդ հարմարվողական համակարգ դիտարկելու և մոդելավորելու համար³: Պարադիգմի առաջացումը պայմանավորված է եղել հետադիմաբանական դարաշրջանի բազմաթիվ երևույթներ բացատրելու անհրաժեշտությամբ: Բարդության տնտեսագիտությունը ձևավորման և փոփոխության այնպիսի գործընթացների տնտեսագիտություն է, ինչպիսին են նոր շուկաների և ոլորտների ձևավորումը, շուկայական կառուցվածքի էվոլյուցիան, նորարարությունը և տեխնոլոգիաների էվոլյուցիան, տնտեսական զարգացման երևույթը: Դա նաև տնտեսական անկայունության ուսումնասիրությունն է՝ շուկայական փլուզումների, տնտեսական ճգնաժամների տեսքով⁴: Բարդության տնտեսագիտության մեկ այլ եզրույթ է ոչ հավասարակշռության տնտեսագիտությունը⁵: Բ. Արթուրը դա բացատրում է այսպես. «Բարդության տնտեսագիտությունը հիմնված է այն ենթադրության վրա, որ տնտեսությունը պարտադիր չէ, որ հավասարակշռության մեջ լինի. տնտեսական գործակալները ... անընդհատ փոխում են իրենց գործողություններն ու ռազմավարությունները՝ ի պատասխան իրենց համատեղ ստեղծած արդյունքի: ..բարդության տնտեսագիտությունը շեշտադրում է պատահականությունները, անորոշությունները, իմաստավորումը և փոփոխությունների նկատմամբ բաց լինելը»⁶:

³ Arthur W.B. (2013) 'Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought.' SFI Working Paper 2013-04-01

⁴ Roos, M. (2024) Principles of Complexity Economics: Concepts, Methods and Applications. Springer International Publishing AG, p.129.

⁵ Պետք է նկատի ունենալ, որ ոչ հավասարակշռությունը տարբերվում է անհավասարակշռությունից: Մինչ անհավասարակշռությունը նկարագրում է հավասարակշռությունից հեռու իրավիճակ, որը դեռևս ենթադրում է հավասարակշռության առկայություն, ոչ հավասարակշռությունը բնութագրում է իրավիճակներ՝ առանց հավասարակշռությանը հղումի:

⁶ Arthur, B. (2015) Complexity and the Economy, Oxford University Press, p.1.

Տնտեսական կանխատեսումների մոդելների ճշգրտությունը մնում է խնդրահարույց, որովհետև ժամանակակից տնտեսությունները ենթարկվում են բազմաթիվ ցնցումների, որոնք կանխատեսման խնդիրները դարձնում են չափազանց դժվար՝ թե կարճաժամկետ և թե միջնաժամկետ հեռանկարում: Մինչդեռ տվյալագիտությունը հնարավորություն ունի վերացնելու կատարողականի հսկայական խոչընդոտները և արմատապես բարելավելու տնտեսական կանխատեսման մոդելների որակն ու մատչելիությունը:

Երկրորդ՝ **«Տվյալագիտության գործիքների կիրառությունները բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման մեջ»** գլխում հիմնավորվում է, թե մոդելավորման համար ինչու են ընտրվել տնտեսության առանձին բարդ ենթամակարդեր, այլ ոչ ամբողջ տնտեսությունը՝ որպես բարդ հարմարվողական համակարգ: Հեղինակը, այնուհետև, դիտարկում է անհավասարակշռության պայմաններում ներդրումային մարտավարության մոդելավորումն իռացիոնալ գործակալի տեսանկյունից և Ռիչարդսոնի բազմակողմ ռազմական ծախսերի մոդելի ընդլայնումը՝ ՁԼՄ-ների տվյալների զգացական վերլուծության միջոցով: Ներկայացվում է բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման մոտեցում՝ օպտիմալ քաղաքականության մշակման մեջ՝ հետևանքներով հանդերձ:

Հեղինակը դիտարկում է անհավասարակշռության պայմաններում իռացիոնալ գործակալի տեսանկյունից՝ ներդրումային մարտավարությունների մոդելավորման խնդիրները:

Հեղինակը, վերցնելով «Յյուրիխյան աքսիոմներ» գրքից⁷ երկու սկզբունք (աքսիոմա), դրանք ձևակերպել է կարճաժամկետ և երկարաժամկետ միտումների բացահայտման հիմնախնդրի տեսքով և փորձել լուծել այն: LSTM նեյրոնային ցանցերի օգնությամբ, հեղինակը կարողացել է բավարարել խնդրի ընդհանուր բնույթը՝ բուն մոդելին բնորոշ առավելությամբ. LSTM հիշողության բջիջով:

Հիմնախնդրի դրվածքը: Հեղինակը դիտարկում է «Յյուրիխյան աքսիոմների» հետևյալ սկզբունքները կամ աքսիոմաները. 1) «միշտ շուտ վերցրեք ձեր շահույթը». սա մատնանշում է հետևյալ միտումը. «այն, ինչ բարձրանում է, պետք է իջնի». 2) «հետևանքի». նախապես որոշել, թե ներդրումից որքան օգուտ է ակնկալվում, չսպասել, քանի դեռ ուշ չէ:

Հաշվի առնելով այն, որ ֆինանսական շուկաներն իրականում անկանխատեսելի են, հեղինակը ձևակերպել է հետևյալ վարկածները.

H0. Հնարավոր չէ ձևակերպել կանոն՝ աճող արժեթղթերը վաճառելու ճիշտ ժամանակը որոշելու համար, օգտագործելով ընդլայնված անալիտիկա՝ հետևանքի սկզբունքը բավարարող վիճակագրորեն նշանակալի ճշգրտությամբ:

H1. Հնարավոր է ձևակերպել կանոն՝ աճող բաժնետոմսերը վաճառելու ճիշտ ժամանակը որոշելու համար, օգտագործելով ընդլայնված անալիտիկա՝ հետևանքի սկզբունքը բավարարող վիճակագրորեն նշանակալի ճշգրտությամբ:

Հեղինակը, նշում է, որ ֆոնդային շուկայի տվյալների վերլուծության կամ հանրային տրամադրությունների վրա զգացական վերլուծության մարտահրավերները հասկանալու համար պետք է հաշվի առնել այն, որ ֆինանսական տվյալները համարվում են ոչ ստացիոնար, ոչ գծային և աղմկոտ՝ ժամանակային շարքերում⁸: Հետևաբար՝ ճշգրիտ կանխատեսման համար կպահանջվեն ոչ գծային մոտեցումներ, ինչպիսին են արհեստական նեյրոնային ցանցերը (ANN)⁹: Դիտարկվել են երեք մոտեցումներ. 1) ֆինանսական տվյալների վերլուծություն, 2) զգացական վերլուծություն և 3) հիբրիդային վերլուծություն:

⁷ Gunther, M. (1985) *The Zurich Axioms*. London, Souvenir Press.

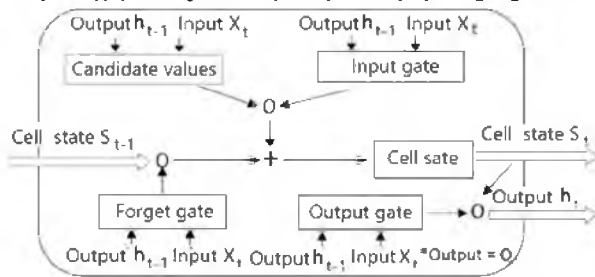
⁸ Jonathan, B., Peter M DeMarzo, 2017. *Corporate finance*. Fourth Global Edition. Pearson

⁹ Aggarwal, C.C. (2018) *Neural networks and deep learning*. Springer International Publishing AG. Springer Cham, XXIV, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29642-0>

Ֆինանսական տվյալների վերլուծության մոտեցումը: Շենը և ուրիշներ նկատել են, որ տարբեր ֆինանսական շուկաների գլոբալացումը և կապվածությունը թույլ են տալիս ենթադրել, որ, օրինակ, Tokyo Stock Exchange-ում նկատելի միտումները կարող են առկա լինել Նյու Յորքի NASDAQ ֆոնդային բորսայում, ինչը նշանակում է, որ ժամանակային գոտու տարբերությունների պատճառով հնարավոր է կանխատեսել որոշակի ակտիվի վարքագիծը որոշակի ֆինանսական շուկայում՝ վերլուծելով այլ շուկայից ստացված տվյալները¹⁰:

Ֆինանսական տվյալների վերլուծության համար օգտագործվող մոդելներից ավելի տարածվածներն են՝ support-vector machines (SVM), decision tree models (DTM), artificial neural networks (ANN) և այլն: Կարճաժամկետ միտումների կանխատեսման առումով լավագույն մոդելների դասը ANN-ն է¹¹:

Վերջին տարիներին մասսայականություն է վայելում deep neural networks-ը (DNN): Ֆինանսական տվյալների ռեկուրսիվ ոչ գծայնության հիմնախնդիրը լուծելու համար լավագույն ընտրությունը ռեկուրենտային նեյրոնային ցանցերն են (RNN)¹²: RNN-ները սովորաբար օգտագործում են այն, ինչն անվանվում է «կարճաժամկետ հիշողություն»: Վերջինս ստեղծվում է դրանց ներքին վիճակում և դինամիկորեն թարմացվում է, երբ նեյրոնային ցանցն անցնում է շերտից շերտ: Հիմնախնդիրն այն է, որ օգտագործելով ստանդարտ հետադարձ տարածումը կամ իրական ժամանակում ռեկուրենտային ուսուցումը, գրադիենտ արժեքները կվերանան կամ «կփքվեն»: Այս հիմնախնդիրը լուծելու համար Հոբոլթերը և Շմիդտներն առաջարկել են ավելի բարդ հիշողության բջիջների կառուցվածք, որը կօգտագործի դարպասային միավորներ՝ ավելորդ տեղեկատվությունից ազատվելու և ցանցի շերտերում օգտակար տեղեկատվությունը չթողնելու համար¹³:



Գծապատկեր 1. LSTM հիշողության բջիջի ընդհանուր կառուցվածքը

հանուր կառուցվածքը ներկայացված է գծապատկեր 1-ում¹⁴, որից երևում է, թե երեք դարպասներն («մոռացության», «ներդրանքի», «թողարկման») ինչպես են վերահսկում երկարաժամկետ միտումների պահպանումը՝ հետագա քայլերի համար, ըստ կշիռների գտելով տվյալները:

Զգացական վերլուծության մոտեցումը: Աժեթթերի գների կանխատեսման զգացական վերլուծության մոտեցումը զգալի հետաքրքրություն է առաջացրել՝ վերջին տասնամյակի ընթացքում տեղի ունեցած որոշ հիմնական գործընթացների խորապատկերին: Առցանց տարբեր ծառայություններ հնարավորություն ընձեռեցին հանրությանը ներդրումներ կատարելու գործարքային համեմատաբար փոքր ծախսերով: Այս իմաստով, ազդեցիկ գործոններից է ներդրողների արձագանքը նորությունների բացահայտմանը¹⁵, որը կարող է տարածվել ամբողջ երկրում և նույնիսկ ամբողջ աշխարհում՝ սոցիալական ցանցերի միջոցով:

¹⁰ Shen, S., Jiang, H. and Zhang, T., 2012. Stock market forecasting using machine learning algorithms. *Department of Electrical Engineering, Stanford University, Stanford, CA*, pp.1-5.

¹¹ Battiston et al (2016) Complexity theory and financial regulation. AAAS. SCIENCE, VOL 351 ISSUE 6275

¹² Maknickienė, N., Rutkauskas, A.V. and Maknickas, A., 2011. Investigation of financial market prediction by recurrent neural network. *Innovative Technologies for Science, Business and Education*, 2(11), pp.3-8

¹³ Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., 1997. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), pp.1735-1780.

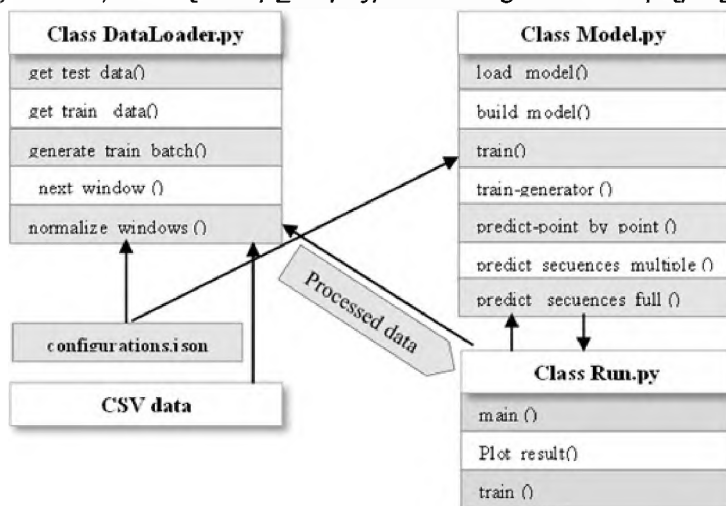
¹⁴ Աղբյուր՝ Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., 1997. Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), pp.1735-1780

¹⁵ Chiong, R., Fan, Z., Hu, Z., Adam, M.T., Lutz, B. and Neumann, D., 2018, July. A sentiment analysis-based machine learning approach for financial market prediction via news disclosures. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion* (pp. 278-279)

Հիբրիդային վերլուծության մոտեցումը: Վանգը և ուրշներ, արժեթղթերի գների կանխատեսման համար, առաջարկել են ֆինանսական տվյալների վերլուծության և ներդրողների զգացական վերլուծության համատեղման մոտեցում¹⁶: Օգտագործված մոդելը երկփուլանի բազմամիջուկային SVR մոդելն է:

Մոդելի ընտրությունը և փորձադրումները: Հեղինակը, որպես հիմնական նպատակ է սահմանել կանոն/մոդելի ձևակերպումը՝ աճող արժեթղթերի վաճառքի ճիշտ ժամանակը գտնելու համար, միաժամանակ ապահովելով վերոնշյալ՝ հետևանքի արքիոմի բավարար մեկնաբանելիությունը կամ ֆունկցիոնալությունը: Նկատի ունենալով այն, որ LSTM մոդելն աշխատում է ստանդարտացված տվյալների հավաքածուի հիման վրա և ավելի պարզ է ինչպես ակադեմիական խստության, այնպես էլ վերարտադրման և ընդհանրացման առումով, հեղինակը շարունակել և թեստավորել LSTM մոդելով՝ առաջարկելով հիբրիդային մոտեցման շրջանակը:

Multi-Kernel Learning հիբրիդային մոտեցման առաջարկ: Հեղինակն ուրվագծել է այս հիբրիդային մոտեցման հիմնական առանձնահատկությունը. առկա է բարձր աստիճանի մեկնաբանելիությամբ ֆինանսական տվյալների վերլուծության բաղադրիչ, որը կապված է «կարճաժամկետ» բարձրարդյունավետ զգացական վերլուծության մոդելի հետ՝ Multiple Kernel Method (MLK) օգտագործմամբ համատեղ մոդելի շրջանակներում: Առաջարկվել է թեստն անցկացնել հետևյալ կերպ. 1) *Զգացական վերլուծության և տեխնիկական վերլուծության ճշգրիտ մոդելների ընտրություն:* 2) *Բազմամիջուկային ուսուցման մոդելի ընտրություն՝ վերոնշյալ երկու մոդելների համադրման համար:* Այսպիսով, ստացվում է մոդել, որը կկարողանա լուծել հիմնական հետազոտական խնդիրը:



LSTM մոդելի ընտրություն և գործարկում: LSTM մոդելով թեստավորումն անցկացնելու համար հեղինակը ընտրել է, բաց ծածկագրով, տվյալագետ Աունգիերսի մոդելը¹⁷, որում օգտագործվում է ֆինանսական տվյալների ստանդարտ CSV ձևաչափը, որը հանդիպում բազմաթիվ աղբյուրներում, ինչպիսին է, օրինակ, Yahoo Finance-ը: CSV ձևաչափը վերածվում է numpy.array-ի, այնուհետև փոխանցվում LSTM ցանցին: Մոդելն

Գծապատկեր 2. Գործարկման դաս-մոդելի գծապատկերը օգտագործում է բարձր մակարդակի գրադարան հանդիսացող Keras-ը, որն աշխատում է TensorFlow-ի հիման վրա: Մոդելի առանձնահատկությունն այն է, որ այն ստանդարտացնում է տվյալները: Մոդելի հիմնական դասերն են Model և DataLoader (գծապատկեր 2)¹⁸:

Ֆոնդային շուկայի ժամանակային շարքերի տվյալների նորմալացման մոտեցումը կլինի հետևյալը.

$$n_i = \left(\frac{p_i}{p_0} \right), \quad (1)$$

որտեղ n -ը գների փոփոխությունների նորմալացված ցուցակն է (պատուհանը), իսկ p -ն օրական եկամտաբերության ճշգրտված գների չմշակված ցանկը (պատուհանը):

¹⁶ Wang, Q., Xu, W. and Zheng, H., 2018. Combining the wisdom of crowds and technical analysis for financial market prediction using deep random subspace ensembles. *Neurocomputing*, 299, pp. 51-61.

¹⁷ Տե՛ս <https://github.com/jaungiers/LSTM-Neural-Network-for-Time-Series-Prediction>

¹⁸ Կազմել է հեղինակը:

Երբ գործարկվում է Run.py-ի հիմնական գործառույթը, ստեղծվում է DataLoader օբյեկտ՝ մշակելու և CSV տվյալների հատկորոշումների համար, որոնք ստացվել են configurations.json-ից: Այնուհետև մշակված տվյալները վերադարձվում և օգտագործվում են՝ Model.py-ի օբյեկտ փոխանցելու և մոդելը գործարկելու համար: Մոդելում կան մեթոդներ, որոնք պատասխանատու են տվյալների բեռնման, կառուցման և ուսուցման համար: Այս բոլոր քայլերում configurations.json-ից վերցվում են հիմնական հիպերպարամետրային արժեքները և պարամետրային այլ տվյալներ: Այսպես կարող է նշվել խմբաքանակների, դարաշրջանների, նեյրոնների, շերտերի և այլնի քանակը: Մոդելը կանխատեսում է օգտագործելով 2 մարտավարություն. 1) բաժանվող պատուհաններ նշված երկարությամբ (տվյալ դեպքում դրանք կմնան լռելայն՝ 50) և 2) կետ առ կետ կանխատեսում, հիմնականում տարբեր առաջադրանքների համար կանխատեսվող արժեքներ ներկայացնելու համար, ներառյալ կորուստները:

Տվյալները: Թեստավորման ընդհանուր կարգավորումը բաղկացած է S&P 500-ից մինչև Dow Jones, այնուհետև առանձին կորպորացիաների տվյալների հավաքածուներից: Այս պարամետրն ընտրելու շարժառիթ եղել է այն բանի ըմբռնմանը հասնելը, թե արդյոք տարբերություն կլինի համապատասխան միտումները բացահայտելու առումով, երբ անցում կատարվի 30 ընկերությունների համաթվից (Dow Jones) 500 ընկերությունների համաթվին (S&P 500): Տվյալները ստանդարտ ֆինանսական տվյալների ձևի են, ամսաթվի, բացումների, բարձրի, ցածրի, փակումների և ծավալի սյունակներով: Ընտրած տվյալների հավաքածուներն են. 1) The Standard and Poor's (^GSPC) 500, սկսած 3-հունվար-2000 թ. 2) Dow Jones Industrial Average (^DJI)՝ սկսած 2-հունվար-2008 թ., 3) Apple (AAPL)՝ սկսած 12-դեկտ. -1980թ., 4) Tesla (TSLA)՝ սկսած 29-հունիս-2010 թ., 5) 3M (MMM)՝ սկսած 2-հունվար-1970 թ., 6) Amazon (AMZN)՝ սկսած 15-մայիս-1997 թ.: Տվյալները հավաքագրվել են YahooFinance-ից և Investing.com-ից՝ CSV ձևաչափով:

Թեստավորումը: Թեստավորման գործընթացը ներառում է նաև անհրաժեշտ կոնֆիգուրացիաների նուրբ կարգավորում, ինչպիսին են հիպերպարամետրերը, որոնք թույլ կտան ունենալ բարձր ճշգրտության մոդելներ որոշակի տվյալների հավաքածուների համար: Թեստերն անցկացվել են տվյալների վեց տարբեր հավաքածուների առնչությամբ՝ փոփոխական խմբաքանակի չափերով 2 շրջանների համար: Վիճակագրական չափումը կատարվել է թեստային MSE-ի համաձայն: Փորձարարական ճանապարհով հնարավոր է եղել հաստատել, որ S&P տվյալների փաթեթի օպտիմալ խմբաքանակի չափը 32 է: Ժամանակային պատուհանի ընդհանուր միտումները բավականին ճշգրիտ են, հատկապես, եթե հաշվի առնվի միտումը, ոչ թե միտումի հատուկ արժեքները կամ ինտենսիվությունը: Հեղինակը վերցրել է Dow Jones-ի տվյալների ավելի փոքր հավաքածու՝ ցույց տալու համար, որ եթե առկա է համեմատաբար փոքր տվյալների բազա, ավելի մեծ խմբաքանակներն օպտիմալ ընտրություն են: Ավելին, Dow Jones-ից գրեթե երկու անգամ ավելի S&P-ի տվյալներ ունենալու դեպքում, կարելի է տեսնել, որ ճշգրտության վրա դա իրականում չի ազդում, քանի որ համապատասխանաբար ճշգրտվել է հիպերպարամետրի խմբաքանակի չափը: Այստեղ կարելի է տեսնել մոդելի աշխատանքի ցուցադրումը, որն աշխատում է մեծ խմբաքանակի և ավելի պակաս տվյալների հետ: Խմբաքանակի պակաս չափը՝ 16-ն ավելի ճշգրիտ է 2-րդ շրջանից հետո, ինչը կարելի է բացատրել նրանով, որ հեղինակը փորձարկել է 1980-ականներին Apple-ի արժեթղթերը: Սա կարող է նշանակել, որ ժամանակային շարքն այնքան մեծ է, որ տվյալների մեծ ֆրագմենտներից միտումները նշելը դառնում է ախմաստ: Ունենալով խմբաքանակի ավելի փոքր չափ, կարելի է ավելի հաճախ թարմացնել ակտիվացման գործառույթները և, հետևաբար, ստանալ ավելի ճկուն մոդել՝ համեմատաբար տվյալների մեծ հավաքածուում փոփոխվող միտումները հաշվի առնելու համար: Tesla-ի դեպքում նույնպես կարելի է տեսնել, որ ավելի քիչ տվյալներ ունենալը

հանգեցնում է ավելի ցածր խմբաքանակի չափերով ընդհանրացնելու ավելի պակաս կարողության: Ընդհանուր միտումները նկատվել են մոդելի միջոցով: 20 տարուց պակաս կամ հավասար ժամանակային շարքի տվյալների առկայության դեպքում՝ նեյրոնային ցանցը դժվարությամբ է օգտակար

Աղյուսակ 1

Result summary table			
	Optimal batch size	Time-series dataset size roughly in years	Loss
^GSPC	32	25	8.1830e-04
^DJI	64	17	9.3036e-04
AAPL	16	44	0.0059
TSLA	64	14	0.0230
MMM	16	55	0.0013
AMZN	64	28	0.0348

ընդհանրացումներ կատարում, հետևաբար, օգտագործվում են խմբաքանակի մեծ չափեր: Սա վերաբերում է ինչպես համաթվերին, այնպես էլ առանձին կորպորատիվ արժեթղթերի արժեքներին: Տարբերությունը, որը կարելի է նկատել Amazon-ի և S&P-ի խմբաքանակի չափերում, ըստ հեղինակի, առանձին արժեթղթերի արժեքի տատանումներն են, ինչպիսին Amazon-նինն է, ավելի շատ տվյալներ կպահանջեն՝ եզրակացություններ անելու համար, ավելի հստակեց-

ված S&P 500 համաթվի դեպքում: Մեկ այլ հետաքրքիր դիտարկում է Apple-ի և 3M-ի խմբաքանակի չափը: Մասամբ բացատրվել է ցածր՝ 16 օպտիմալ խմբաքանակի չափը այս ընկերությունների արժեթղթերի համար՝ ենթադրելով, որ տարիների ընթացքում ժամանակային շարքերի տարբեր փուլերը պահանջում են ընդհանրացման տարբեր կանոններ: Ինչ վերաբերում է Tesla-ին, ապա կարելի է ենթադրել, որ դեր է ունեցել ընկերության արժեթղթերի խիստ անկայուն և գերուռճացված բնույթը: Այսպիսով, կարելի է փորձել կենտրոնանալ որոշակի ժամանակային ինտերվալների վրա՝ որոշակի նպատակով. լինի դա ճշգրիտ կանխատեսումը կամ մեկնաբանելի մոդելը՝ լավ ուսումնասիրված ժամանակային միջակայքում պատճառականությունն ուսումնասիրելու համար: LSTM մոդելը հուսալի և ճկուն գործիք է՝ առաջին կամ երկրորդ խնդիրները լուծելու համար:

Դիտարկվել է Ռիչարդսոնի բազմակողմ դազմական ծախսերի մոդելի ընդլայնման հարցը՝ նորությունների տվյալների զգացական վերլուծության միջոցով: Հեղինակն առաջարկում է ավելի բարդ դինամիկայի ներմուծում, արդեն գոյություն ունեցող մոդելում՝ օգտագործելով Deep-Learning-ի վրա հիմնված NLP վերլուծությունը խոշոր քանակի նորությունների հոդվածների տվյալների՝ Ռիչարդսոնի բազմակողմ սպառազինությունների մրցավազքի մոդելի գործողություն-արձագանք մատրիցը լրացնելու համար: Ըստ հեղինակի՝ կատարված բացահայտումները կնպաստեն ընդլայնված վերլուծություններին՝ բարդության վերլուծության շրջանակներում: Մոդիֆիկացված Lotka-Volterra մոդելը, կանխատեսման և տվյալափոխ վերլուծության համար, իրենից ներկայացնում է կանխատեսմանը կողմնորոշված ընդլայնված մոդելի շարունակությունը:

Մոդելի ընդլայնումը: Նկատի ունենալով այն, որ Ռիչարդսոնի մոտեցումը բարդ երևույթները հաջող մոդելավորելու եղանակ է, հեղինակը ցուցադրում է բարդության ներմուծման մոտեցում՝ գոյություն ունեցող մոդելի ընդլայնմամբ: Հեղինակը հետևյալ կերպ է ձևակերպել հետազոտական հիմնական հարցը. Հնարավո՞ր է, արդյոք, ընդլայնել Ռիչարդսոնի մոդելը՝ պաշտպանական ծախսերի մոդելավորման դիֆերենցիալ հավասարման մեջ վարքագծային կողմերի ներառմամբ: Որպես երկրորդական հետազոտական հարց է ձևակերպվել հետևյալը. Արդյո՞ք NLP վերլուծության միջոցով ձեռք բերված ըմբռնումը որևէ նշանակալի ձևով բարելավում է մոդելի աշխատանքը: Հիմնական նպատակ է սահմանվել. ստանալ տվյալափոխ շրջանակ՝ հետազոտական հիմնական հարցին պատասխանելու համար: Առաջադրվել են հետևյալ վարկածները. 1) HO_major: Հնարավո՞ր է ընդլայնել Ռիչարդսոնի մոդելը նորությունների զգացական վերլուծության վարքագծային կողմերով: 2) HO_minor. Ընդլայնված մոդելը կընձեռի՞ ավելի մեծ ըմբռնում և կբարելավի՞ մոդելի արդյունավետությունը:

Ռազմական ծախսերի և ՋԼՄ-ների կողմից ձևավորած հանրային զգացականություն միջև կապն ուսումնասիրելու պահանջը: Այսպես կոչված «CNN էֆեկտի» մասին իր հայտնի հոդվածում, հինգ դեպքեր դիտարկելուց հետո, Փ. Ռոբինսոնը եզրակացրեց՝ թեև գոյություն ունի փոխադարձ կապ հաղորդված դեպքերի և իրական քաղաքականության միջև, այն հարցը, թե որ կողմն ունի վճռորոշ ազդեցություն, պետք է քննարկել երեք չափումներում. 1) ՋԼՄ-ների ազդեցության փաստացի վերլուծություն՝ ի տարբերություն այլ գործոնների, 2) այն դեպքերի բացատրություն, երբ ՋԼՄ-ները ճնշում են գործադրել, իսկ քաղաքականություն չի հետևել. 3) ՋԼՄ-ները վե-րահսկող կուսակցությունների շահերը:

Բազմակողմ ռազմական ծախսերի մոդելավորում: Սառը պատերազմի ժամանակ բազմակողմ սպառազինությունների մրցավազքի մոդելավորման նպատակով՝ Ռիչարդսոնը մշակել է երկու մասից բաղկացած մոտեցում: Նախ, նա հաշվարկել է «գործողություն-արձագանք» կամ «պատճառ-հետևանք» մատրիցը՝ չհետևելով որևէ վիճակագրական ընթացակարգի, այլ հիմնվելով լրատվական հաղորդումների և ռադիոհաղորդումների իր վերլուծության վրա: Երկրորդ, վերը նշված մատրիցն օգտագործվել է պարզ դիֆերենցիալ հավասարման մեջ, որը մոդելավորում է երկրների ռազմական ծախսերի միջև փոխկապվածությունը (հավասարում 2):

$$\frac{dx_i}{dt} = g_i + \sum_{j=1}^{j=n} k_{ij} x_j \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

որտեղ x_i -ն i երկրի ռազմական ծախսերն է, k_{ij} -ն ունի գործողություն-արձագանքման գործակիցներ անկյունագծից դուրս և տնտեսական սահմանափակումներ՝ անկյունագծի վրա, իսկ g_i -ն ներկայացնում է թշնամական պայմանները:

Հեղինակը մտադրվել է բարելավել քննարկվող խնդիրները՝ մատրիցայի լրացման գործընթացով ժամանակակից NLP մոտեցումների ներառմամբ, որոնք կարող են օգնել ստանդարտացնելու, մասշտաբավորելու և կրկնելու նորությունների տվյալների վերլուծության ընթացակարգը՝ Ռիչարդսոնի բազմակողմ սպառազինությունների մրցավազքի մոդելի համար: Ընտրված NLP մոտեցումը, ըստ հեղինակի, կլրացնի ընտրված 11 երկրների համար զգացական արժեքները k մատրիցում:

Բնական լեզվի մշակման հնարավորության ընդլայնում մոդելում: «Գործողություն-արձագանք» մատրիցի ավարտման գործընթացում բնական լեզվի մշակման (NLP) օգտագործման դեպքն ակնհայտ է թվում: NLP-ի գիտության մեջ, ավելի որոշակի՝ զգացականություն առաջացնելու նպատակով, սովորական է երեք չափումներով տեքստային տվյալների վերլուծությունը. փաստաթուղթ, նախադասություն և էություն կամ կողմ¹⁹: Քանի որ հետազոտության շրջանակում վերլուծությունը ներառում է A երկրից որոշակի զգացականությունը B երկրի նկատմամբ և, ընդհակառակը, պարզելը, հեղինակը ձգտել է կորզել այսպես կոչված կողմերի զգացական եռյակները, որոնք առաջին անգամ նկարագրել են Լու Սյուն և ուրիշներ²⁰:

Ռազմական ծախսերի բազմակողմ ազդեցության վերլուծություն: 2016 թ. համար հաշվարկվել են զգացական արժեքները 11 երկրների համար, որոնք չափվել են հետևյալ բանաձևով.

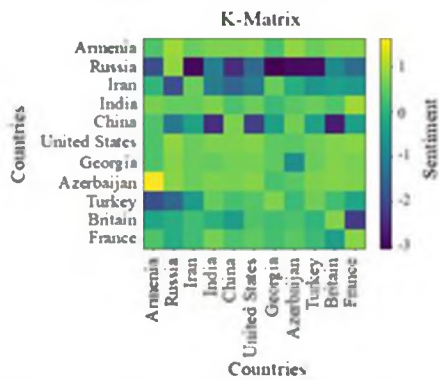
$$z = (x - u) / s, \quad (3)$$

որտեղ u -ն ընտրանքի միջինն է, s -ը՝ ընտրանքների ստանդարտ շեղումը, իսկ x -ը՝ տրված ընտրանքը:

¹⁹ Do, H.H., Prasad, P.W., Maag, A. and Alsadoon, A., 2019. Deep learning for aspect-based sentiment analysis: a comparative review. *Expert systems with applications*, 118, pp.272-299.

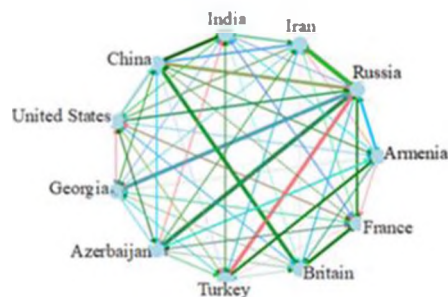
²⁰ Xu, L., Chia, Y.K. and Bing, L. (2021) Learning span-level interactions for aspect sentiment triplet extraction. *arXiv preprint arXiv:2107.12214*

Ինչպես երևում է ստանդարտ մասշտաբային K-մատրիցի ջերմային քարտեզից (գծապատկեր 3)²¹, օրինակ, Հայաստանի տրամադրությունները հիմնականում դրական են Ռուսաստանի նկատմամբ, սակայն Ռուսաստանի տրամադրությունները զգալիորեն ավելի թշնամական են Հայաստանի նկատմամբ: Այնուամենայնիվ, որոշ փոխազդեցություններ դժվար է մեկնաբանել առաջին հայացքից, օրինակ՝ Ադրբեջանի դրական տրամադրվածությունը Հայաստանի նկատմամբ: Այս և նման այլ դեպքերը կարող են լինել որոշ երկրների կողմից ԶԼՄ-ների՝ որպես իրենց ավելի դրական պատկերելու գործիք օգտագործելու կամ մեթոդի անկայունության կամ երկուսի համակցության արդյունք: ԶԼՄ-ների՝ որպես ազգի համակողմանի կերպարն առաջ մղելու միջոց օգտագործելու վերաբերյալ առաջին կետը լավ հայտնի է ակադեմիական շրջանակներում²² և ունի



Գծապատկեր 3. 2016 թ. K-մատրիցի ջերմային քարտեզը

մեծ տվյալների վերլուծության վրա հիմնված այդպիսի մոդելներում որոշ արդյունքներ աղավաղելու պոտենցիալ: Այդպիսի գործոններն ընդունվել որպես պոտենցիալ խոչընդոտներ՝ մոդելի լրացման ավելի հուսալի մեթոդի որոնման ճանապարհին: Ի լրումն ասվածի, դիտարկվել են փոխազդեցությունները ժամանակի ընթացքում, ուսումնասիրելով 2016 - 2020 թթ. ժամանակահատվածի ջերմային քարտեզները, որոնք ցուցադրում են դիտարկվող երկրների հարաբերություններում դինամիկ փոփոխությունները: Մատրիցի ներկայացումը ջերմային քարտեզի տեսքով հնարավորություն է ընձեռում պատկերացում կազմելու երկրների միջև տարբեր փոխազդեցությունների վերաբերյալ, սակայն փոխազդեցության ընդհանուր պատկերի հետագա ըմբռնման համար մատրիցը կարող է մեկնաբանվել փոխազդեցության ուղղորդված գրաֆիկի միջոցով (գծապատկեր 4)²³: Այդպիսով հնարավոր է պատկերացում կազմել, թե որ երկիրն է գերիշխում մյուսի նկատմամբ՝ զգացական արժեքների առումով, ինչը, որոշակիորեն արտացոլում է տվյալ երկրի ռազմական ծախսերի ավելացման կամ նվազման պատճառահետևանքային կապը: Լրացնելով բոլոր հաստատունները և որպես նախնական պայմաններ, վերցնելով 11 երկրների 2015 թ. ռազմական ծախսերը, հեղինակը հաշվարկել է 2016 թ. դրանց ստանդարտացված կանխատեսումները՝ օգտագործելով Python library scipy.integrate-ը՝ դիֆերենցիալ հավասարումը լուծելու համար: Նրանցից 5-ի համար կանխատեսվել ճիշտ միտումը, ընդ որում, հետազոտվող երկրները մեծամասամբ գտնվել են փոփոխությունների իրատեսական միջակայքում՝ բացառությամբ ԱՄՆ-ի և Ադրբեջանի: Առաջադրված երկու վարկածները հաստատվում են: Ռիչարդսոնի մոդելի (H0) ընդլայնումը կարող է դիտվել հաջողված, և հաշվի առնելով k-մատրիցներից ստացված բոլոր պատկերացումները, վերջիններիս ընդլայնմամբ բարձրացվել է մոդելի արդյունավետությունը, կրկնօրինակելիությունը և հուսալիությունը:



Գծապատկեր 4. 2026 թ. K-մատրիցի վիզուալացում կշռված գրաֆիկական ցանցի տեսքով

Փոփոխված Lotka-Volterra մոդելը՝ կանխատեսող տվյալահենք վերլուծության համար: Ցանկացած տարածաշրջանային առնակատման ժամանակ կարելի է հեշտությամբ նշել այն երկիրը

²¹ Կառուցել է հեղինակը:

²² Fürsich, E., 2010. Media and the representation of Others. *International social science journal*, 61(199), pp.113-130.

²³ Կառուցել է հեղինակը:

(երկրները), որոնք հիմնականում պաշտպանական դիրքերում են և այլ երկրներ, որոնք հիմնականում գործում են պատեհապաշտ՝ փորձելով ինչ-որ բան ստանալ խոցելի երկրի հաշվին: Խոցելիության չափանիշները տարբեր են և բազմաշերտ, պարունակում են այնպիսի գործոններ, ինչպիսին են բնակչության թվաքանակը, տնտեսական զարգացման աստիճանը, ռազմական հզորությունը և այլն: Կոնֆլիկտային իրավիճակում երկու երկրների միջև ընդհանուր կարողությունների անհավասարակշռությանը նպաստող գործոնները նույնպես տարբեր են և ընդգծվում են «մեծ պետություն ընդդեմ փոքր պետության» դինամիկայի ներքո՝ Թ. Բեսլիի և Թ. Փերսսոնի աշխատանքում²⁴: Հեղինակը դիտարկել է երկրների համախմբի ռազմական ծախսերի մոդելավորման ջանքերին որոշակի բարդություն ավելացնելու հնարավորությունը՝ շարունակելով բազմակողմ ռազմական ծախսերի տվյալահենք մոդելավորման թեմայի քննարկումը Lotka-Volterra (գիշատիչ-որս) մոդելի միջոցով, որն առաջնահերթություն կընձեռի կանխատեսմանը²⁵: Մոդելավորման ջանքերն առնչվում են Հայաստանի և Ադրբեջանի ռազմական ծախսերին: Պարզ ձևով Lotka-Volterra (LV) մոդելը նկարագրում է հետևյալ դինամիկան.

$$\begin{aligned}x' &= \alpha x - \beta xy, \\ y' &= \delta xy - \gamma y,\end{aligned}\quad (4)$$

որտեղ երկու փոփոխականները ներկայացնում են ժամանակից կախված պոպուլյացիաները, որոնցից x -ը համապատասխանում է որսի պոպուլյացիային, իսկ y -ը՝ գիշատիչների պոպուլյացիային²⁶: x' -ը և y' -ը ներկայացնում են պոպուլյացիայի փոփոխությունը, α -ն գիշատիչի աճի տեմպն է, β -ն այն արագությունն է, որով գիշատիչը սպառում է որսը, δ -ն այն արագությունն է, որով գիշատիչը զոհը վերածում է գիշատիչների սերունդների, և γ -ն այն բնական արագությունն է, որով գիշատիչի պոպուլյացիան նվազում է: Հիմնական ենթադրությունները հետևյալն են.

- x -ը կկարողանա էքսպոնենցիալ աճել, եթե համակարգում գիշատիչ չկա,
- y -ը էքսպոնենցիալ կնվազի՝ համակարգում x -ի բացակայության դեպքում,
- ոչ տրիվիալ հավասարակշռության կետերի համար $\alpha - \beta y = 0$ և $\delta x - \gamma = 0$, լուծումը կլինի՝ $(x^*, y^*) = (\gamma/\delta, \alpha/\beta)$:

Որսի և գիշատիչների միջև պոպուլյացիայի փոխկապակցված բնույթն այն դարձնում է գերազանց ընտրություն՝ ռազմական ծախսերի մոդելավորման համար:

Աղյուսակ 4

Lotka-Volterra մոդելի մոդիֆիկացված պարամետրերը²⁷

Պարամետր	Պարամետրի նկարագրություն
α	Ռազմական ծախսերի աճի տեմպը «որս» երկրի նախորդ տարվա համեմատ
β	«Որս» երկրի նկատմամբ «գիշատիչ» երկրի զգացական գործակիցը
δ	«Գիշատիչ» երկրի նկատմամբ «որս» երկրի զգացական գործակիցը
γ	«Գիշատիչ» երկրի ռազմական ծախսերի աճի տեմպերը՝ նախորդ տարվա համեմատ
Որսի սկզբնական պոպուլյացիա x	«Որս» երկրի ընտրված տարվա ռազմական ծախսերը
Գիշատիչների սկզբնական պոպուլյացիա y	«Գիշատիչ» երկրի ընտրված տարվա ռազմական ծախսերը

²⁴ Besley, T. and Persson, T., 2010. State capacity, conflict, and development. *Econometrica*, 78(1), pp.1-34.

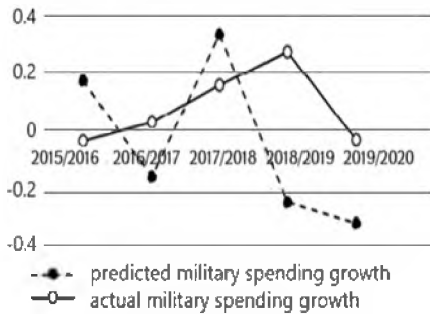
²⁵ Vardanyan, M., 2023. Richardson's Multilateral Military Expenditure Model Augmentation via Sentiment Analysis of News Data in the Framework of Complexity Economics. *Bulletin of Yerevan University G: Economics*, 14(2 (41)), pp.48-58.

²⁶ Butcher, J.C. (2016) *Numerical methods for ordinary differential equations*. John Wiley & Sons. P.18.

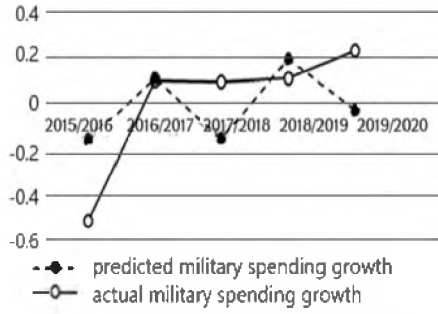
²⁷ Կազմել է հեղինակը:

Մոդիֆիկացված Lotka-Volterra մոդելը (LV): Օգտագործում է «գործողություն-արձագանք» մատրիցը, որը ստացվում է նորությունների տվյալների²⁸ զգացման վրա հիմնված վերլուծությունից: Այդպիսով փորձ է արվել ներդնելու որոշակի կառավարելի քանակությամբ բարդություն LV մոդելում և ստանալու ռազմական ծախսերի գնահատման բարելավված կատարողական²⁹: Պարամետրերի ճշգրիտ մոդիֆիկացիան ներկայացված է աղյուսակ 4-ում:

Հաշվի առնելով Հայաստանի և Ադրբեջանի միջև հակամարտությունների դինամիկան՝ հենդինակն ուսումնասիրել է (Python-ի միջոցով կատարված հաշվարկների հիման վրա) ժամանակային 3 միջակայք՝ 2015-2016 թթ., 2017-2018թթ. և 2019-2020 թթ.: Տվյալների առաջին երկու կետերը 2015թ. մոդելի նախնական վիճակի արդյունքն են՝ 2016թ. զգացական գործակիցներով



Գծապատկեր 5. Հայաստանի փաստացի և Lotka-Volterra մոդելով կանխատեսված ռազմական ծախսերը (2015-2020թթ.):



Գծապատկեր 6. Ադրբեջանի փաստացի և Lotka-Volterra մոդելով կանխատեսված ռազմական ծախսերը (2015-2020թթ.):

րի՝ ՀՀ ռազմական ծախսերի աճի մասին: Մասնավորապես նշված գործակիցները համապատասխանաբար կազմել են՝ AM-AZ՝ 0.3, AZ-AM՝ -1.82: Ըստ մոդելի կանխատեսման՝ 2015-ից 2017թթ. Ադրբեջանի կանխատեսվող ռազմական ծախսերը նշանակալի բարձր են եղել, ինչը կարելի է բացատրել որպես ավելի կոշտ հոգեւորաբանությամբ և «որսին» «գիշատիչի» նախագգուշացումով: 2018 թ. զգացական AM-AZ գործակիցը կազմել է 1.46, իսկ AZ-AM-ը՝ 0.64, ինչը նշանակում է, որ մոդելի կանխատեսումը, հաշվի առնելով դրական զգացականությունը, եղել է ռազմական ծախսերի կրճատումը, «որս» երկրի՝ ՀՀ-ի համար: 2018թ. կանխատեսումը «գիշատիչ» երկրի համար եղել է ռազմական ծախսերի աճը (գծապատկեր 6)³¹: 2019 և 2020թթ. զգացական գործակիցները էական չեն փոխվել, համապատասխանաբար կազմելով՝ 0.59, 0.33 և 0.54, 0.65, ուստի սպասվում է, որ «որս» երկրի պարագայում մոդելը կշարունակի նախկին միտումը և կսկսի նվազեցնել ծախսերը «գիշատիչ» երկրի համար: 2024 թ. ՀՀ պաշտպանության ծախսերը նվազել են 1.9 տոկոսային կետով³²: Մոդելը որոշակիորեն նկարագրում է զգացական վերլուծության մեջ նկատված դինամիկան, որոշ սահմանափակումներով, այնուամենայնիվ մի քանի հիմնական ոլորտներում կանխատեսումների միտումը նկատելի է:

Երկրորդ գլխում հեղինակը ներկայացրել է նաև բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման մոտեցում՝ օպտիմալ քաղաքականության կիրառություններով հանդերձ:

²⁸ Arakelyan, A. and Makaryan, L. (2021) Model of Territorial Conflict and International Military Cooperation. Bulletin of Yerevan University G: Economics. 12(3 (36)). pp.56-72.

²⁹ Arakelyan, A.H., Vardanyan, M.G. 2023. Modified Lotka-Volterra model for predictive data-driven analysis of military spending in the framework of Complexity Economics.

³⁰ Կառուցել է հեղինակը:

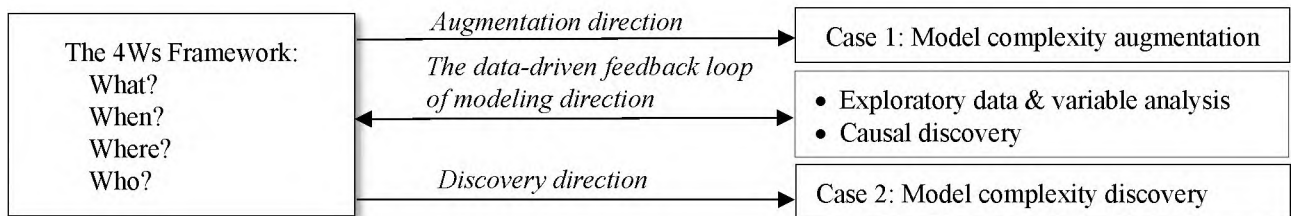
³¹ Կառուցել է հեղինակը:

³² Հայաստանի Հանրապետության սոցիալ-տնտեսական վիճակը 2024 թվականի հունվար-դեկտեմբերին, էջ 127:

Առաջարկվող մոտեցումը: Հեղինակը կատարել է գոյություն ունեցող մոդելի ընդլայնում՝ բարդության ներմուծման միջոցով³³, այստեղ սահմանվում է ընդհանրական մոտեցումը: Սահմանվել են հետևյալ նպատակները. 1) ավարտել բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման տվյալահենք մոտեցման ձևակերպումը, 2) ընդլայնել այդպիսի մոդելավորմամբ որոշումներ կայացնելու կարողությունները³⁴:

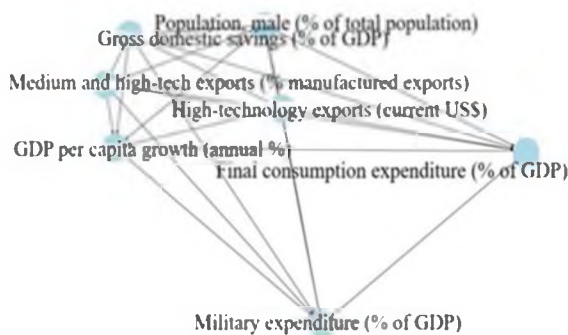
Տվյալները: 116 երկրների տվյալները (2019 - 2021 թթ.) ստացվել են World Databank-ից: Օգտագործված փոփոխականները բարդության վերլուծության համար ընդունված փոփոխականներից են³⁵. *բնակչություն, տղամարդ* (ընդհանուր բնակչության %), *վերջնական սպառման ծախսեր* (ՀՆԱ-ի նկատմամբ %), *համախառն ներքին խնայողություններ* (ՀՆԱ-ի նկատմամբ %), *ռազմական ծախսեր* (ՀՆԱ-ի նկատմամբ %), *բնակչության մեկ շնչին բաժին հասնող ՀՆԱ-ի աճ* (տարեկան %), *միջին և բարձր տեխնոլոգիաների արտահանում* (արտահանման ընդհանուր ծավալի նկատմամբ %), *բարձր տեխնոլոգիաների արտահանում* (ընթացիկ ԱՄՆ դոլար): Առաջարկվող մոտեցումն ունի հետևյալ կառուցվածքը.

Դեպք 1. Մեկնարկ որոշակի երևույթների մոդելավորման համոզմունքների նախնական հավաքածուից՝ մոդելի բարդության ավելացում: **Դեպք 2:** Մեկնարկ երևույթից և մոդելի դուրս բերում տվյալներից՝ մոդելի բարդության բացահայտում: Երկու դեպքում էլ խոսքը վերաբերում է բարդությանը՝ որպես բաղադրիչ, որը տարբեր փուլերում ավելացվում է մոդելավորման ջանքերին, որտեղ 4Ws շրջանակն օգտագործվում է մոդելավորման առաջարկվող մոտեցման ամբողջացման համար (գծապատկեր 7):



Գծապատկեր 7. Բարդության տնտեսագիտության մոդելավորման առաջարկվող մոտեցումը³⁶

Ինչպես ցույց է տրված, փոփոխականների պատճառական կապերի և 4W շրջանակի ուղղությունների ըմբռնումն առաջարկվող մոտեցման առանցքային կողմն է: Ասվածն ամբողջացնելու համար, հեղինակը մոտեցումը կիրառում է վերոնշյալ տվյալների առնչությամբ:



Գծապատկեր 8. PC ալգորիթմի արդյունքում ստացված գրաֆիկը՝ 0.5 նշանակալիության մակարդակով

Դեպք 2. մոտեցումը գործողության մեջ: Պատճառահետևանքային կապերի ուղղությունը պարզելու համար, նախ կատարվում է որոնողական տվյալների վերլուծություն, ինչի արդյունքում ի հայտ են գալիս կապեր տարբեր փոփոխականների միջև, օրինակ՝ Սփիրմանի բացասական կոռելյացիան վերջնական սպառման ծախսերի և բարձր տեխնոլոգիաների արտահանման միջև: Դիտարկվող փո-

³³ Vardanyan, M., 2023. Richardson's Multilateral Military Expenditure Model Augmentation via Sentiment Analysis of News Data in the Framework of Complexity Economics. Bulletin of Yerevan University G: Economics, 14(2 (41)), pp.48-58.

³⁴ Jacobs, B.I. and Levy, K.N.(1989) The complexity of the stock market. *The Journal of Portfolio Management*, 16(1), pp.19-27.

³⁵ <https://data.worldbank.org/>

³⁶ Կազմել է հեղինակը:

փոխականների միջև հարաբերություններն ուսումնասիրվել PCA 2 biplot-ով: Մոտ 60% շեղումով (2 բաղադրիչով բացատրվող) երևում է, որ քննարկվող և բարդության վերլուծության մեջ ներառվող փոփոխականները ցույց են տալիս ոչ գծային հարաբերություններ, ինչը հանգեցնում պատճառականության բացահայտմանը (գծապատկեր 8):

Երրորդ՝ «Անցումային երկրների հիմնախնդիրները՝ բարդության տնտեսագիտության կիրառությունների համատեքստում» գլխում դիտարկվում են անցումային տնտեսությունների մարտահրավերները և հնարավորությունները՝ բարդության տնտեսագիտության (այսուհետ՝ SF) տեսանկյունից, անդրադարձ է արվում երկրների և արտադրանքի տնտեսական բարդության չափման մոտեցումներին: Այնուհետև, հեղինակն ընդարձակ վերլուծում է ՀՀ տնտեսական բարդության դիրքը՝ առաջարկելով երկրի տնտեսական բարդության աստիճանի բարձրացման քաղաքականության որոշ մոտեցումներ, հիմնվելով տնտեսական բարդության համաթվի վրա: SF մոտեցումն առնչվում է համաշխարհային շուկայի փոխկապակցվածությանը և ներկայացնում միջազգային առևտրի տվյալները՝ որպես երկկողմանի ցանց, որում երկրները կապված են իրենց արտահանած արտադրանքով: Վերլուծության մեկնարկային կետն էմպիրիկ դիտարկումն է, ըստ որի առավել մրցունակ երկրները հակված են դիվերսիֆիկացնելու իրենց արտահանման զամբյուղը: Երկրների և արտադրանքի տնտեսական բարդությունը «երկիր-արտադրանք» ցանցի կառուցվածքից դուրս բերելու համար գոյություն ունի երկու մոտեցում. (1) *արտադրման մեթոդը* (MR) երկրի և արտադրանքի բարդությունը որոշարկում է՝ օգտագործելով գծային խտերացիոն հավասարումներ, (2) *հարմարվողականության - բարդություն մեթոդը* (FCM). որոշարկում է երկրի հարմարվողականությունը և արտադրանքի բարդությունը՝ օգտագործելով ոչ գծային խտերացիոն հավասարումների մի շարք³⁷: Երկու մեթոդների մուտքային տվյալները «երկիր-արտադրանք» ցանցի հարակից մատրիցն է: Ի տարբերություն MR-ի, ոչ գծային հավասարումները, որոնք որոշարկում են FCM-ը, «բարեհաճ» են դիվերսիֆիկացված արտահանման զամբյուղ ունեցող երկրների նկատմամբ և «տուգանում» են այն արտադրանքը, որն արտահանում են թույլ դիվերսիֆիկացված երկրները³⁸: Ռ. Հաուսմանը և Ս. Իդալգոն³⁹ երկրների համար որպես SF չափում՝ առաջարկում են տնտեսական բարդության համաթիվը (ECI), իսկ արտադրանքի համար՝ արտադրանքի բարդության համաթիվը (PCI): Atlas անվանվող այս մեթոդաբանությունը հիմնված է միջազգային առևտրի տվյալների վրա: Վ. Ստոյկոսկին⁴⁰ և ուրիշներ, օգտագործում են տնտեսական բարդության համաթվի (ECI) կառուցման այլ մեթոդ, որը հիմնված է երեք չափումների վրա. 1) առևտրի բարդություն՝ Observatory of Economic Complexity-ի⁴¹ արտահանման տվյալների օգտագործմամբ, 2) տեխնոլոգիայի բարդություն⁴². 3) հետազոտության բարդություն⁴³: SF չափման այս բազմաչափ մոտեցումը թույլ է տալիս ավելի խորը ըմբռնելու ոչ միայն երկրի կառուցվածքային փոփոխությունները, այլև տեխնոլոգիական նորարարությունների վրա հիմնված կայուն աճի հեռանկարները: ECI-ն և PCI-ն չափվում են որպես համաշխարհային միջինից ստանդարտ բարձր կամ ցածր շեղում (նշվում է դրական կամ բացասական արժեքներով): ՀՀ տնտե-

³⁷ Tacchella, A., Cristelli, M., Caldarelli, G. *et al.* A New Metrics for Countries' Fitness and Products' Complexity. *Sci Rep* 2, 723 (2012). <https://doi.org/10.1038/srep00723>

³⁸ Tacchella, A., Cristelli, M., Caldarelli, G. *et al.* A New Metrics for Countries' Fitness and Products' Complexity. *Sci Rep* 2, 723 (2012). <https://doi.org/10.1038/srep00723>

³⁹ The Atlas of economic complexity, համառոտ՝ Atlas.

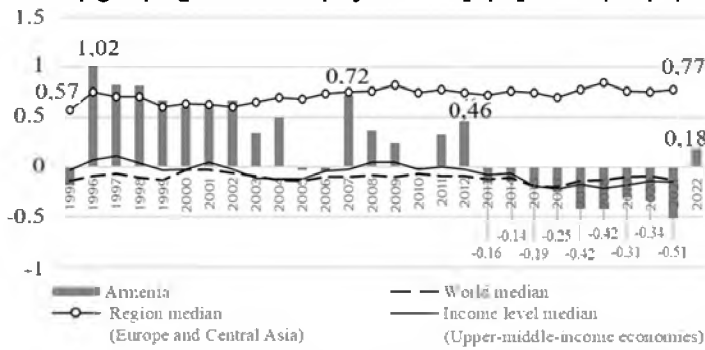
⁴⁰ Stojkoski, V., Koch, P. & Hidalgo, C.A. Multidimensional economic complexity and inclusive green growth. *Commun Earth Environ* 4, 130 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00770-0>

⁴¹ Observatory of Economic Complexity// <https://oec.world/en>

⁴² <https://www.wipo.int/pct/en/>

⁴³ <https://www.scimagojr.com/aboutus.php> (2022)

սական բարդության համաթվի և հենանիշային համաթվերի միտումը ներկայացված է գծապատկեր 9-ում⁴⁴: 2021թ. ՀՀ-ն զբաղեցրել է 92-րդ տեղը՝ Տնտեսական բարդության համաթվի (ECI) վարկանիշում (ECI՝ -0,51): Հեղինակը գտնում է, որ ՀՀ ECI-ի խիստ վերելքը 2022 թվականին՝ -0,51-ից մինչև 0,18, պայմանավորված է բարդ արտադրանքի վերաարտահանման խիստ աճով,



Գծապատկեր 9. ՀՀ տնտեսական բարդության համաթվի և հենանիշային համաթվերի միտումները

տադրանքի հավաքածուից, որն արդեն արտադրվում է⁴⁵: Նրանք ներմուծեցին արտադրանքի տեսակների միջև մոտակայության չափումը: Միմյանց մոտ գտնվող արտադրանքի տեսակների բոլոր զույգերի հավաքածուն վիզուալացվում է ցանցում, որը հայտնի է որպես «արտադրանքի տարածություն» (Product space): Արտադրանքի բարդությունը, որը թողարկում է երկիրը, ներկայացվում է Արտադրանքի բարդության համաթվով (PCI): Արտադրանքի տարածության կառուցվածքը ցույց է տալիս, թե որտեղ են դիվերսիֆիկացման լավագույն հնարավորությունները, ինչ նոր արտադրանք կարող է մշակվել գոյություն ունեցող know-how-ի հիման վրա կամ ոչ մեծ քանակի լրացուցիչ know-how-ի ավելացումով⁴⁶: 2022թ. ՀՀ-ից արտահանված երեք ամենաբարդ արտադրատեսակների խմբերը. 1) էլեկտրական, լազերային և այլն (ըստ SITC4 ծածկագրի՝ 737.3), 2) էլեկտրամեքենաներ և ապարատներ (ըստ SITC4 ծածկագրի՝ 778.7), 3) միջուկային ռեակտորներ, վառելիքի տարրեր (ըստ SITC4 ծածկագրի՝ 718.7)⁴⁷:

Հեղինակի կարծիքով, ՏԲ չափումն ըստ արտահանման զամբյուղի, աղավաղում է իրական վիճակը: Observatory of Economic Complexity-ին առաջարկում է բազմաչափ մոտեցում՝ հիմնված առևտրի (ECI առևտուր), արտոնագրային (ECI տեխնոլոգիա) և հետազոտության տվյալների (ECI հետազոտություն) վրա: ՀՀ համաթվերը հետևյալն են. ECI առևտուր՝ 0.00 (2022 թ.), ECI տեխնոլոգիա՝ -0.73, ECI հետազոտություն՝ -0.63: Համեմատության համար՝ աստիճանակարգի առաջին հորիզականում գտնվող Ճապոնիայի համաթվերն են համապատասխանաբար՝ 2.07, 1.0, 0.84⁴⁸: Հայաստանում ՏԲ էվոլյուցիայի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ արագացող գլոբալ փոփոխություններին և աճող անորոշությանը հարմարվողականություն հնարավոր է ձեռք բերել երկրի տնտեսական բարդության աստիճանի բարձրացմամբ:

Երկրի տնտեսական բարդության բարձրացման քաղաքականության մոտեցումները: Ըստ Հարվարդի Աճի լաբորատորիայի՝ «Հայաստանի առկա գիտելիքներն ընձեռում են դեպի հարակից

⁴⁴ Կազմել է հեղինակը՝ հետևյալ աղբյուրի հիման վրա . <https://atlas.hks.harvard.edu/rankings>

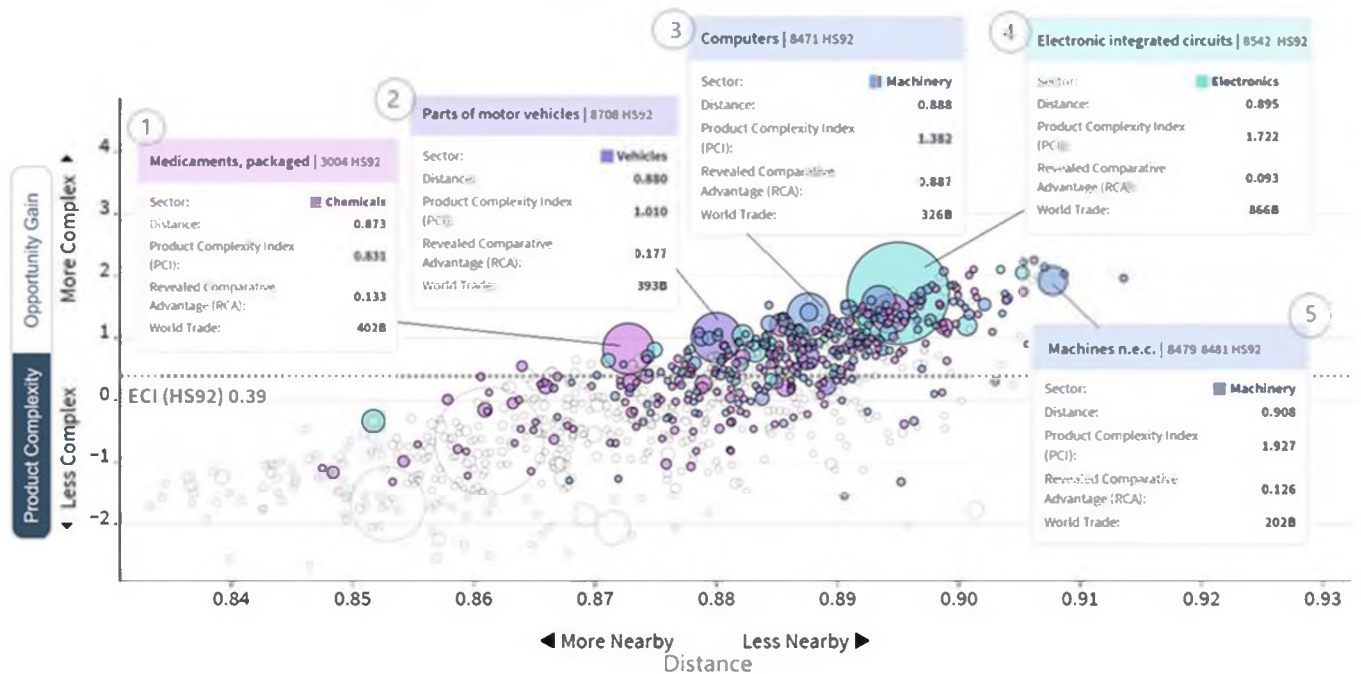
⁴⁵ Hausmann, R., Klinger, B. (2006). “Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space.” Growth Lab Working Paper, Harvard University Kennedy School of Government, p. 2.

⁴⁶ Hausmann, R. Economic Development and the Accumulation of Know-how//Welsh Economic Review. Cardiff University Press, 2016. Volume 24. pp. 13-16.

⁴⁷ Աղբյուր՝ The Product Complexity Index// <https://atlas.hks.harvard.edu/rankings/product>; Standard International Trade Classification//https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesM/SeriesM_34rev4E.pdf

⁴⁸ Աղբյուր՝ Observatory of Economic Complexity// <https://oec.world/en>

արտադրանք դիվերսիֆիկացման չափավոր հնարավորություններ» և, ըստ այդմ՝ առաջարկվում են հետևել մոտեցումները. 1) թեթև համան մոտեցում, 2) արդյունաբերական քաղաքականության խոհեմ մոտեցում. 3) ռազմավարական խաղադրույքի մոտեցում, 4) տեխնոլոգիական սահմանի մոտեցում⁴⁹: Երկրներն աճում են՝ ի հաշիվ դեպի ավելի բարդ արտադրանք դիվերսիֆիկացվելու: Ռազմավարական նոր արտադրանքը նպատակ ունի հաշվեկշռելու հետևյալը. ա) հեռավորությունը մինչև գոյություն ունեցող հնարավորություններ. ավելի պակաս հեռավորությունը (0-ին մոտ) նշանակում է, որ արտադրանքը «մոտ է» առկա know-how-ին, բ) բարդությունը. ավելի բարդ արտադրանք, որը հանգեցնում է ավելի բարձր աշխատավարձի, գ) օգուտ՝ ապագա դիվերսիֆիկացման հնարավորությունից. ավելի բարձր արժեքներն ավելի մեծաթիվ կապեր են պարունակում բարձր բարդությամբ այլ արտադրանքի հետ՝ ստեղծելով ավելի մեծ հնարավորություններ՝ շարունակական դիվերսիֆիկացիայի համար: ՀՀ արտադրանքի տարածության մեջ առանձնանում է բարձր համաթվով 5 քլաստեր (գծապատկեր 10). 1) փաթեթավորված դեղորայք, 2) ավտո-մեքենաների մասեր (ծածկագիր 8708, HS92). 3) համակարգիչներ (ծածկագիր 8471, HS92); 4) էլեկտրոնային ինտեգրալ սխեմաներ (ծածկագիր 8542, HS92). 5) սարքեր թերմոստատիկ կառավարվող փականների համար (ծածկագիր 8481, HS92). Ակնհայտ է, որ այդ հնարավորություններն իրացնելու համար անհրաժեշտ է նվազեցնել երկրի հեռավորությունը համաշխարհային տեխնոլոգիական ընթացիկ սահմաններից՝ հատկապես բարդ արտադրանքի այս խմբերի արտադրության համար, ինչին ուղղված գործընթացները և քայլերը պահանջում են մոդելավորում՝ որպես մշակվելիք ռազմավարության հենք:



Գծապատկեր 10. Հայաստանի աճի հնարավորությունները՝ տնտեսական բարդության համատեքստում⁵⁰

Տեխնոլոգիական սահմանից հեռավորության կրճատումը կարող է դիտվել որպես կենսունակ ռազմավարական մոտեցում ՀՀ ՏԲ աստիճանը բարձրացնելու համար: Բազմաթիվ էմպիրիկ

⁴⁹ Աղբյուր՝ <https://atlas.hks.harvard.edu/countries/51/strategic-approach>

⁵⁰ Աղբյուր՝ <https://atlas.hks.harvard.edu/explore/feasibility?exporter=country-51>. Ծանոթություն. թեպետ 2022 թ. ՀՀ բարդությունը որոշակի աղավաղված է (բարդ արտադրանքի վերաարտահանման ազդեցությամբ), այդուհանդերձ, դեպի նշված արտադրանքի խմբեր հնարավոր է իրականացնել դիվերսիֆիկացիա:

ուսումնասիրությունների արդյունքների հիման վրա, Փ. Հավիթը և Դ. Մայեր-Ֆոլքսը, բարդության տնտեսագիտության տեսանկյունից հիմնախնդիր են տեսնում դիվերգենցիայի ցանկացած տեխնոլոգիական բացատրության առնչությամբ⁵¹: Հարուստ երկրների միջև մերձեցման միտումը հեշտ է հասկանալ որպես տեխնոլոգիաների փոխանցման դրսևորում: Դրանից ելնելով, հեղինակները կատարում են հետևյալ հարցադրումները. 1) Բայց ինչ ուժ է հակազդել տեխնոլոգիայի փոխանցմանը, որպեսզի առաջացնի տեխնոլոգիական դիվերգենցիա, որը տեղի է ունեցել 19-րդ դարի կեսերից ավելի տևական ժամանակահատվածում: 2) Իսկ ինչո՞ւ այս ուժը դադարեց գործել 20-րդ դարի երկրորդ կեսին: Ավելին, ժամանակակից կոնվերգենցիայի այս խումբը չի ներառում, մասնավորապես, հետխորհրդային երկրները, այդ թվում՝ Հայաստանը, ինչպես նաև շատ այլ երկրներ, ինչի արդյունքում առաջատար երկրների և ընդհանուր առմամբ ամենաաղքատ երկրների միջև անջրպետը շարունակեց ընդլայնվել 20-րդ դարի երկրորդ կեսի ընթացքում, ինչպես ցույց են տալիս Frontier Technology Readiness Index-ի աստիճանակարգից երկրների ընտրված խմբերի համաթվերը. փոքր կղզիների զարգացող երկրներ՝ 0.37, ծովային ելք չունեցող զարգացող երկրներ՝ 0.29, այդ թվում ՀՀ՝ 0.51, Ենթասահարական Աֆրիկա՝ 0.23, թույլ զարգացած երկրներ՝ 0.19⁵²: Նշված աստիճանակարգի վերին 10 երկրների միջին միավորների և ընտրված խմբերի միջին միավորների միջև տարբերությունը տատանվում է 2,5-ից մինչև 5 անգամ: Հավիթը և Մայեր-Ֆոլքսն առաջարկում են, գուցե, ՀՀ-ի համար կիրառելի, տնտեսական աճի մոդել՝ հիմնված Փ. Հավիթի բազմակողմ մոդելի վրա, որն իր հերթին Շումպետերյան ստեղծարար կործանման միջոցով աճի Ագիոն-Հավիթ մոդելի ընդլայնումն է, և որը ենթադրում է ակումբային կոնվերգենցիայի հատուկ ձև⁵³: Այս առումով, Ռ. Էվենսոնը և Լ. Վեստֆալը պնդում են, որ «երկիրը չի կարող մոտենալ սահմանին միայն առաջատար երկրներում զարգացած տեխնոլոգիաները կրկնօրինակելով, քանի որ տեխնոլոգիական գիտելիքը հաճախ բացահայտ չէ և հանգամանքներով բերումով՝ զգայուն է»⁵⁴:

Հայաստանը SS ոլորտում, թերևս, որոշակի առաջընթացի է հասնել, որն անհրաժեշտ, բայց ոչ բավարար է՝ երկրի տնտեսական բարդության մակարդակի բարձրացման առումով: Դրա մասին է վկայում վերջին երեք տասնամյակների ընթացքում ՀՀ-ում տեխնոլոգիական ներդրումների ցածր արդյունավետությունը, որի ցուցիչն է առաջադեմ տեխնոլոգիաներին երկրի պատաստվածության համաթիվը: Թվում է, թե գծապատկեր 10-ում բարձր բարդության համաթիվը նշված արտադրանքի հինգ քլաստերներից առաջնահերթությունը պետք է տրվի համակարգիչներին և էլեկտրոնային ինտեգրալ սխեմաներին, այս համատեքստում, ծրագրային ապահովման մշակումներին՝ հիմնված հետևյալ նկատառումների վրա.

- 1) Ռիչարդսոնի մոդելը դիտարկելիս՝ ռազմական ծախսերի մանրամասն կառուցվածքը միտումնավոր չի քննարկվել՝ սպառազինության գնման աղբյուրների և դրանց տեսակների առումով, մինչդեռ Արցախյան պատերազմի դասերից մեկը եղել է ինտեգրված, համագորային մարտական ցանցի ծախսարդյունավետ բաղադրիչը.

⁵¹ Howitt, P., Mayer-Foulkes, D. R&D, Implementation, and Stagnation: A Schumpeterian Theory of Convergence Clubs// Journal of Money, Credit and Banking Vol. 37, No. 1 (Feb., 2005), pp. 147-177.

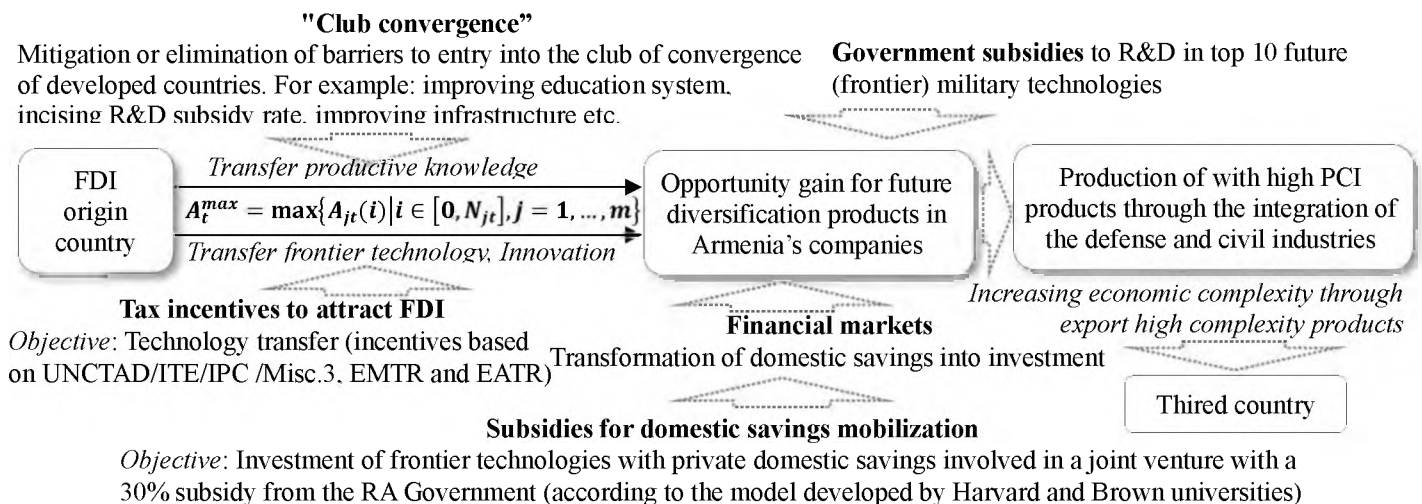
⁵² Աղբյուր՝ UNCTAD, "Technology and Innovation Report 2023: Opening Green Windows - Technological Opportunities for a Low-Carbon World", pp. 154-167.

⁵³ Howitt, P. (2000) Endogenous Growth and Cross-Country Income Differences// The American Economic Review, Vol. 90, No. 4., pp. 836-838.

⁵⁴ Evenson, R. E., and Westphal, L. E. Technological Change and Technology Strategy. In Handbook of Development Economics, edited by T. N. Srinivasan and Jere Behrman, 2209-99. Handbooks in Economics, v.9. Vol. 3A. Amsterdam: Elsevier, 1995.

- 2) Արցախյան 2-րդ պատերազմի մարտադաշտում հակառակորդի բոլոր տեսակի ուժերի ներդաշնակ համագործակցությունը, գործողության արագությունը, որը մեծ էր ադրբեջանական բանակի թվային տեխնոլոգիական սարքերով հագեցվածության աստիճանի շնորհիվ, հնարավորություն ընձեռեցին իրական ժամանակում վերլուծություններ կատարել և որոշումներ կայացնել. կարելի է նաև ենթադրել, որ այդ պատերազմում օգտագործվել են ռազմական իրերի ինտերնետը (IoMT), մարտադաշտի իրերի ինտերնետը (IoBT).
- 3) 2025 թվականի դրությամբ երկակի օգտագործման համարվող վերին 10 պաշտպանական տեխնոլոգիաները հիմք են հանդիսանում ավելի բարդ SS (թվային) արտադրանքի արտադրության համար, ինչը կարևոր է ռազմական արդյունաբերության թվայնացման և բանակը սեփական արտադրանքով զինելու տեսանկյունից.
- 4) 2022թ. դրությամբ համակարգիչների և էլեկտրոնային ինտեգրալ սխեմաների շուկան արժեք գրեթե 1.2 տրիլիոն ԱՄՆ դոլար (գծապատկեր 10), ինչն այդ ոլորտի զարգացման մեծ ներուժի վկայությունն է:
- 5) Հետևաբար, ռազմական արդյունաբերությունը կարող է հանդես գալ որպես լոկոմոտիվ՝ բարձրացնելու երկրի տնտեսական բարդությունը և բարձրացնելու նրա պաշտպանունակությունը ծախսարդյունավետ ձևով:

Միաժամանակ, հարկ է նկատի ունենալ, որ «այն երկրները, որոնք ներդրումներ չեն անում նոր տեխնոլոգիաների մեջ, լճանում են, քանի որ առանց սեփական տեխնոլոգիական ներդրումների նրանք չեն կարող օգուտ քաղել տեխնոլոգիաների փոխանցումից»: Հետևաբար, որոշիչ գործոններից մեկը հետազոտության և զարգացման սուբսիդիաներն են: Ելնելով վերը նշվածից, տնտեսական բարդության բարձրացման հայեցակարգային շրջանակը, հիմնված Փ. Հավիթի բազմակողմ մոդելի վրա, կարող է ունենալ գծապատկեր 11-ում ներկայացված տեսքը:



Գծապատկեր 11. Հայաստանի տնտեսական բարդության աստիճանի բարձրացման հայեցակարգային շրջանակը⁵⁵

⁵⁵ Կազմել է հեղինակը հետևյալ աղբյուրների հիման վրա. Aghion, Ph., Comin, D. and Howitt, P. When does domestic saving matter for economic growth? Working paper, Department of Economics, Harvard University, 2006, 44 p. (+8) <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:27759050>; Devereux, M., Griffith, R., Klemm, A. (2002) Corporate Income Tax Reforms and International Tax Competition. Economic Policy, Vol.17-35, pp. 451-495, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=639482>; UNCTAD. Tax Incentives and Foreign Direct Investment. A Global Survey. UN, New York and Geneva, 2000; Vardanyan, D., Vardanyan, M. Conceptual Framework for Domestic Saving Financing the Investment

Ինչպես երևում է գծապատկերից, ֆինանսական շուկաները կարևոր տեղ են գրավում առաջարկվող հայեցակարգում, ինչը միանգամայն տրամաբանական է՝ հաշվի առնելով Հայաստանի անկախությունից ի վեր, տասնամյակների ընթացքում այս կարևոր ինստիտուտի թերզարգացումը, ինչը խոչընդոտ է, երկրի ՏԲ աստիճանի բարձրացման տեսանկյունից, ներքին խնայողությունները ներդրումային ռեսուրսի վերածելու ճանապարհին: Սա, հարկային խթանները և Կառավարության սուբսիդիաները միասին վերցրած՝ առաջարկվող հայեցակարգի ֆինանսական կողմն է: Գլխավորը, հայեցակարգում, արտադրողական գիտելիքի, սահմանային տեխնոլոգիաների և նորարարությունների փոխանցումն է, որոնք կարող են հանգեցնել երկրի և արտադրանքի տնտեսական բարդության աստիճանի բարձրացմանը:

Եզրակացություններ

Ատենախոսական հետազոտության շրջանակներում ստացված հիմնական գիտական և գործնական եզրակացությունները հետևյալն են.

1. «Բարդության տնտեսագիտություն» տերմինը ստեղծվել է Բրայան Արթուրի կողմից 1999 թվականին. «Այսպիսով, ավանդական տնտեսագիտությունը ուսումնասիրում է հետևողական օրինաչափություններ. վարքագծային հավասարակշռության օրինաչափություններ, որոնք չեն առաջացնում հետագա արձագանքներ: Սանտա Ֆեի ինստիտուտի, Սթենֆորդի, MIT-ի, Չիկագոյի և այլուր տնտեսագետները այժմ ընդլայնում են այս մոտեցումը, թե ինչպես են ակնկալվում գործողությունների ընդհանուր հավասարակշռությունը: Բարդության տնտեսագիտությունը ստանդարտ տնտեսական տեսության հավելում չէ, այլ ավելի ընդհանուր, ոչ հավասարակշռված մակարդակի տեսություն:

2. Բարդության տնտեսագիտությունը նոր, արագ զարգացող երևույթ է, որը բացահայտում է իրականության ամբողջական պատկերը, նախկինում անտեսանելի գործընթացներն ու փոխկախվածությունները՝ լուծումներ առաջարկելով ամենաբարդ սոցիալ-տնտեսական խնդիրների համար: Տնտեսագիտության մեջ բարդության գիտության մեջ մշակված հասկացություններն ու մեթոդները աճող կիրառություն են գտել տնտեսական համակարգերի ըմբռնման և կառուցվածքների առաջացման և տնտեսության մեջ օրինաչափությունների բացահայտման ուսումնասիրության մեջ, ինչը հանգեցնում է բարդ տնտեսագիտության առաջացմանը: Բարդության տնտեսագիտությունը տնտեսական գիտության նոր մոտեցում է, որն օգտագործում է բարդության տեսության մոդելները՝ դիտարկելու և մոդելավորելու տնտեսությունը որպես բարդ հարմարվողական համակարգ: Բարդության տնտեսագիտություն - ոչ թե ստանդարտ տնտեսական տեսության հավելում, այլ ավելի ընդհանուր, ոչ հավասարակշռված մակարդակի տեսություն:

3. Բարդության տնտեսագիտությունը ներկայումս բախվում է տեսության և գործիքների մշակման մարտահրավերին, որոնք կարող են աջակցել որոշումների կայացման համակարգերին քաղաքականության մշակման մեջ: Գործակալների վրա հիմնված մոդելավորումը վճռորոշ դեր է խաղում այս առաջադրանքում և կարող է օգտակար լինել ինչպես որոշումների կայացման, այնպես էլ մարդկանց քաղաքականությունների արդյունավետությունը գնահատելու լիազորություն տալու համար: Հետևաբար, քաղաքականության մշակման համար ԳԲՀ-ների դասը պետք է լինի և՛ բավականին պարզ իր կառուցվածքով, և՛ բավականին բարդ իր արդյունքով: Ինչպես ցույց է տրվել, ցանցային վերլուծության կիրառումը առաջացող արդյունքների համար կարող է

հեշտացնել այս խնդիրը՝ ընդգծելով ընտրությունների և որոշումների հետևանքները հասարակության կառուցվածքի վրա:

4. Մենք պնդում ենք, որ տնտեսական համակարգերի աճող բարդությունն ու փոխկապակցվածությունը այլևս չի կարող անտեսվել տնտեսական տեսության կողմից, և որ մեծ տվյալների դարաշրջանում անհրաժեշտ է տնտեսական մտածողության պարադիգմային փոփոխություն: Մենք ցույց ենք տալիս, որ բարդության տեսությունն ունի մի շարք չափումներ և մեթոդներ, որոնք հարմար են տնտեսական համակարգերի գործառնական մեխանիզմը բացահայտելու համար՝ հաշվի առնելով տարատեսակ բարդ համակարգերի առակայությունը և նրանց փոխազդեցությունները: Միևնույն ժամանակ, բարդ գիտության մտածողության և մոդելավորման կիրառումը հանգեցնում է տնտեսական համակարգերի ավելի լավ ընկալմանը և որոշումների կայացման բարելավմանը:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակվել են հետևյալ հրատարակություններում.

1. Vardanyan, M. The modeling strategy of complexity economics with implication in optimal policymaking// Եվրասիա միջազգային համալսարանի Բանբեր հանդես, 2/2024, էջ 98-108.
2. Vardanyan, M. Economic complexity theory and its applications: a case study of Armenia// «Alternative» quarterly academic journal, Volume 4, 2024 (October – December), 97-116.
3. Վարդանյան Գ., Վարդանյան Մ. «Պաշտպանական արդյունաբերություն 4.0». ՀՀ պաշտպանական արդյունաբերության թվային փոխակերպման անհրաժեշտությունը//«Հայկական Բանակ» ռազմագիտական հանդես, 2023, հ.4, էջ 9-26:
4. Arakelyan, A., Vardanyan, M. (2023) Modified Lotka-Volterra model for predictive data-driven analysis of military spending in the framework of Complexity Economics. Proceeding of Engineering Academy of Armenia (PEAA). 2023. V.20, N 2112-116.
5. Vardanyan, M. Richardson's Multilateral Military Expenditure Model Augmentation via Sentiment Analysis of News Data in the Framework of Complexity Economics. *Bulletin of Yerevan University G: Economics*, Vol. 14 No. 2 (41) (2023), 48–58. <https://doi.org/10.46991/BYSU:G/2023.14.2.048>
6. Վարդանյան Դ., Վարդանյան Մ. Ներքին խնայողությունների ներգրավման միջոցով Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության բարդության աստիճանի բարձրացման հայեցակարգային շրջանակ//«Բանբեր ՀՊՏՀ», N 1, 2022, էջ 9-32:
7. Վարդանյան Գ., Վարդանյան Մ. Հայաստանի Հանրապետությունում COVID-19 համավարակի ազդեցությունը օտարերկրյա ուղղակի ներդրումների վրա// «Այլընտրանք» գիտական հանդես, հոկտեմբեր-դեկտեմբեր, N4, 2021, էջ 34-41:
8. Варданян М. Экспортно-платформенные прямые иностранные инвестиции: возможности и перспективы для Армении//Проблемы социально-экономического развития: Поиски, Перспективы, Решения. Сборник научных статей - 1(5) – Ереван, ЕФ РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2021, сс. 273-286.
9. Vardanyan G. Vardanyan, M. Reformulation of an Empirical Investment Rule in Terms of Advanced Analytics and its Model Selection//«ԱրՊՀ գիտական տեղեկագիր», պրակ 2, Ստեփանակերտ, 2021, էջ 376-385:
10. Վարդանյան Գ., Վարդանյան Մ. ՀՀ ռազմարդյունաբերության համալիրի զարգացման «ճանապարհային քարտեզի» մշակման հիմնախնդիրները և հնարավոր մոտեցումները//ՀՀ ՊՆ Պաշտպանական ազգային հետազոտական համալսարանի «Հայկական ռազմարդյունաբերության զարգացման ժամանակաշրջանի մարտահրավերները և հնարավորությունները» գիտաժողովի նյութեր, Եր., 2020:

ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ СЛОЖНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ИНСТРУМЕНТОВ НАУКИ О ДАННЫХ

Авотореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.08 – «Математическое моделирование экономики».

Защита диссертации состоится 16-го мая 2025 года, в 13⁰⁰ часов, на заседании специализированного совета по экономике 015 Комитета по высшему образованию и науке МНКС Республики Армения, действующего в Ереванском государственном университете. Адресу: ул. Абовяна, 52, 0025, г. Ереван.

РЕЗЮМЕ

Актуальность темы исследования. Реформы, предпринятые за три десятилетие в большинстве стран с переходной экономикой, в том числе в Республике Армения, не привели к кардинальным структурным изменениям в экономике в соответствии с мировым технологическим развитием и существенному повышению уровня жизни людей. Стало очевидно, что экономическое процветание не может определяться исключительно ограниченным числом факторов. Различия между богатыми и бедными странами многообразны и обусловлены весьма специфическими факторами.

За последние три десятилетия постепенно сформировался и в настоящее время общепризнан альтернативный подход к изучению экономики: теория экономики сложности, согласно которой «экономика не всегда находится в состоянии равновесия, математические расчеты полезны в экономике, экономическая ситуация может характеризоваться как возрастающей, так и убывающей отдачей, экономика не является чем-то данным и сформированным, а находится в процессе формирования, основанном на постоянно развивающихся институтах, нормативных рамках и технологических инновациях». С этой точки зрения экономика сложности может помочь понять развитие национальных экономик посредством измерений, которые фокусируются на более широком спектре факторов. Это особенно важно в контексте Стратегии Правительства РА на 2021-2026 годы. глубина целей, установленных программой. «В среднесрочной перспективе повысить индекс экономической сложности с -0,39 до 0,1 балла и создать основу для вхождения в число 30 стран с высокой экономической сложностью в течение 10 лет».

Таким образом, речь идет о переосмыслении проводившейся до недавнего времени экономической политики в свете новой парадигмы экономики сложности, что определяет важность исследований в этой области с точки зрения изучения сложных экономических систем и механизмов их функционирования.

В экономике становится все более очевидным, что понимание сложности предлагает новую научную структуру, в которой экономические системы понимаются как сложные системы, которые невозможно рассуждать с использованием традиционных линейных аналитических структур и методологий. Основные методологии, используемые в сложности, существенно отличаются от тех, которые используются в традиционной экономике. К ним относятся агентное моделирование, клеточные автоматы, теория катастроф, сложные адаптивные системы, интеллектуальный анализ данных, теория динамических систем, фрактальная геометрия, генетические алгоритмы, нейронные сети, степенной закон, сети без масштаба, самоорганизующаяся критичность и синергия.

Таким образом, актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью разработки математических моделей и методов, позволяющих описать функционирование экономики как сложной системы в условиях неопределенности. Вышеизложенное, а также недостаточная изученность описываемой проблемы в Республике Армения предопределили выбор темы исследования, его цель и задачи, методологию исследования и структуру работы.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка математической основы для анализа и моделирования сложных экономических систем на основе инструментов науки о данных. Были сформулированы и решены следующие задачи:

- проанализировать и систематически представить особенности экономики сложности, а также ее отличительные аспекты от неоклассической экономики;
- уточнить объем концепций и методов изучения экономики сложности,
- проанализировать особенности теории сложности и моделирования сложности в экономике;

- выявить возможности и проблемы переходных экономик с точки зрения экономики сложности;
- анализировать сложность страны и продукта, используя общепризнанные методологии;
- оценить положение Армении и политические последствия с точки зрения экономики сложности;
- рассмотреть подход к моделированию военных расходов в контексте теории сложности.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования являются сложные экономические системы, их структура и характеристики. Предметом исследования являются методы математического моделирования сложных экономических систем в условиях неопределенности и неравновесия с использованием инструментария науки о данных.

Основные научные результаты и новизна исследования. Данное исследование является первой в Армении попыткой комплексного изучения экономики сложности и ее моделирования с использованием инструментов науки о данных. Среди результатов, полученных в ходе исследования, можно считать новыми следующие:

- модифицирована многосторонняя модель гонки вооружений Ричардсона на основе данных, содержащихся в публикациях СМИ, с применением к динамике военных расходов Армении и региональных игроков;
- разработан подход к моделированию инвестиционного поведения на рынке ценных бумаг с учетом предположений нерационального инвестора и несбалансированного рынка в более широком контексте применения идей экономики сложности к разработке политики в странах с переходной экономикой, направленной на экономическое развитие.
- предложен подход к моделированию экономики сложности, основанный на концепции 4W и понимании направлений причинно-следственных связей между переменными, имеющих последствия для стран с переходной экономикой и, в частности, для Армении;
- предложена концепция повышения уровня экономической сложности Армении на основе многосторонней модели Питера Хавитта, которая предполагает сокращение расстояния страны от текущей технологической границы посредством «клубной конвергенции» и диверсификации в сторону сложной продукции.

MHER GAGIK VARDANYAN

THE MODELING PROBLEM OF COMPLEXITY ECONOMICS VIA DATA SCIENCE TOOLS

The abstract of the dissertation submitted for pursuing degree of Ph.D. in Economics in the field of 08.00.08 - "Mathematical modeling of the economy".

The defense of the dissertation will take place at 13³⁰ on May 16th, 2025, in the Meeting of Specialized Council 015 in Economics of the Higher Education and Science Committee of the MSCS of the Republic of Armenia, acting at the Yerevan State University. Address: 52, Abovyan St., 0025, Yerevan.

ABSTRACT

Relevance of the research topic. The reforms undertaken over three decades in most countries with transition economies, including the Republic of Armenia, have not led to fundamental structural changes in the economy in line with global technological development and a significant increase in people's living standards. It has become obvious that economic prosperity cannot be determined solely by a limited number of factors. The differences between rich and poor countries are diverse and are due to very specific factors. Over the past three decades, an alternative approach to the study of the economy has gradually emerged and is now generally accepted: the theory of complexity economics, according to which "the economy is not always in a state of equilibrium, mathematical calculations are useful in the economy, the economic situation can be characterized by both increasing and decreasing returns, the economy is not something given and formed, but is in the process of formation based on constantly evolving institutions, regulatory frameworks and technological innovations." From this perspective, complexity economics can help us understand the development of national economies through measurements that focus on a wider range of factors. This is especially important in the context of the RA Government Strategy for 2021-2026: "In the medium term, to increase the economic complexity index from

-0.39 to 0.1 points and create a basis for joining the top 30 countries with high economic complexity within 10 years."

Thus, we are talking about rethinking the economic policy pursued until recently in the light of the new paradigm of complexity economics, which determines the importance of research in this area in terms of studying complex economic systems and their functioning mechanisms.

In economics, it is becoming increasingly clear that understanding complexity offers a new scientific structure in which economic systems are understood as complex systems that cannot be reasoned about using traditional linear analytical structures and methodologies. The main methodologies used in complexity differ significantly from those used in traditional economics. These include data science methods using traditional machine learning algorithms, deep neural networks and big data.

Thus, the relevance of the dissertation topic is due to the need to develop mathematical models and methods that can describe the functioning of the economy as a complex system under uncertainty. The above, as well as the insufficient study of the described problem in the Republic of Armenia, predetermined the choice of the research topic, its goal and objectives, research methodology, and the structure of the work.

Purpose and objectives of the study. The purpose of the study is to develop a mathematical basis for the analysis and modeling of complex economic systems based on data science tools.

The following tasks were formulated and solved:

- to analyze and systematically present the features of complexity economics, as well as its distinctive aspects from neoclassical economics;
- to clarify the scope of concepts and methods for studying complexity economics,
- to analyze the features of complexity theory and complexity modeling in economics;
- identify the opportunities and challenges of transition economies from the perspective of complexity economics;
- analyze the complexity of the country and product using generally accepted methodologies;
- assess the situation in Armenia and the policy implications from the perspective of complexity economics;
- consider the approach to modeling military spending in the context of complexity theory.

Subject and object of the study. The object of the study is complex economic systems, their structure, and characteristics. The subject of the study is the methods of mathematical modeling of complex economic systems under conditions of uncertainty and disequilibrium using data science tools.

Main scientific results and novelty of the study. This study is the first attempt in Armenia to comprehensively study the complexity economy and its modeling using data science tools. Among the results obtained during the study, the following can be considered new:

- Richardson's multilateral arms race model was modified based on data contained in media publications with the application to Armenia's and regional players' military expenditure dynamics;
- a modeling approach to investment behavior in the securities market was developed, taking into account the assumptions of an irrational investor and an unbalanced market within a larger context of applying complexity economics' insights into transition economies policymaking aimed at economic development;
- an approach to modeling the economy of complexity is proposed, based on the concept of 4W and understanding the directions of causal relationships between variables with implications for transition economies and Armenia's case in particular;
- a concept for increasing the level of Armenia's economic complexity has been proposed, based on Peter Havitt's multilateral model, which assumes reducing the country's distance from the current technological frontier through "club convergence" and diversifying towards complexity products.

