

Ա.Ա. ԴՌՆՈՑԱՆ

ՀԱՄԱԿԱՐԳԱՅԻՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ՀՀ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՏՆՏԵՍՈՒԹՅԱՆ
ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ 2050 ԹՎԱԿԱՆԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄՆԵՐԸ

Իրականացվել է էներգետիկ տնտեսության մոդելավորում՝ ըստ համակարգային դինամիկայի, Simantics System Dynamics ծրագրի միջոցով: Արտածվել են համակարգի կառուցվածքը, փոխազդեցությունները և 2021-2050 թթ. համակարգի վիճակի պարամետրերի փոփոխությունները: Արդյունքում՝ 2050 թվականին Հայաստանի էներգահամակարգում մեծ կշիռ են ձեռք բերելու Արևի և քամու էներգետիկ կայանները: Մյուս կողմից՝ իրենց դերը չեն կորցնի նաև Հայկական ԱԷԿ-ը և Հայաստանի ՋԷԿ-երը: Բնակչության աճը և արդյունաբերության զարգացումը կունենան նաև իրենց կարևոր ազդեցությունը էներգիայի պահանջարկի հարցում:

Առանցքային բառեր. համակարգային դինամիկա, էներգահամակարգ, էներգետիկ տնտեսության մոդելավորում:

Ներածություն: Էներգետիկ բնագավառի զարգացումը թափ է առնում բավական արագ տեմպերով: Ամբողջ աշխարհում, ինչպես նաև Հայաստանում փոփոխվում են էներգիայի աղբյուրների համամասնությունները ողջ էներգետիկական համակարգում: Այս փոփոխությունները ենթադրում են տնտեսական և տեխնիկական մարտահրավերներ, որոնց մոդելավորումը հնարավորություն է ընձեռում՝ ուսումնասիրելու մեծությունների փոխազդեցությունները:

Համակարգային դինամիկան ներկայացնում են մեծությունների կապերը, համակարգում դրանց փոխազդեցությունները, փոփոխման արագությունները և ազդող գործոնները [1]: Մեծ մասամբ համակարգային դինամիկան ներկայացվում են հոսքային դիագրամների միջոցով, որոնք ունենում են 4 հիմնական տարրեր՝ վիճակի պարամետրեր, փոփոխման արագություններ, հաստատուններ, փոփոխականներ [2]: Հոսքային դիագրամներում տարբերվում են նյութական և տեղեկատվական հոսքերը: Նյութական հոսքերը միավորում են վիճակի պարամետրերն իրենց փոփոխման արագություններին, իսկ տեղեկատվական հոսքերը հաստատում են փոխազդեցությունների կապեր բոլոր չորս տարրերի միջև: Կապերը լինում են ինչպես դրական, այնպես էլ բացասական: Համակարգային դինամիկան դիֆերենցիալ հավասարումների շարքերն են՝ ներկայացված գրաֆիկական եղանակով [3]:

Արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում, տնտեսական կանխատեսումներում համակարգային դինամիկան ունի լայն կիրառություն և կախված հաշվի առնվող գործոններից՝ մեծ ճշգրտությամբ որոշում է համակարգի առաջխաղացման սցենարները [4]: 1972 թվականին իրականացված հետազոտությունը Երկրի ռեսուրսների սպառման կանխատեսման վերաբերյալ համակարգային դինամիկայի ամենամեծ կիրառություններից մեկն է [5]: World3 մոդելը պարունակում էր աշխարհի տնտեսության ճյուղերը, արդյունաբերությունը, բնակչության աճը, ռեսուրսների ծախսը, վերականգնվող ռեսուրսների հայտնաբերումն ու դրանց օգտագործումը, շահավետությունը: Մոդելի տարատեսակ սցենարներով կանխատեսվում էր գազի և նավթի ռեսուրսների սպառում մինչև 2045 թվականը:

Մեկ այլ մոդելով նիդերլանդական Shell ընկերությունը կանխատեսում էր 21-րդ դարում տրանսպորտի և վառելիքի ծախսի ոլորտներում գազի, նավթի, վերականգնվող էներգիայի մասնաբաժինները [6]: Այս մոդելով պարզ է դառնում, որ նավթի դուրսմղման և վերականգնվող էներգիայի առաջխաղացման արդյունքում տրանսպորտի ոլորտում անհրաժեշտ է նաև այլ էներգակիր, որը երկու տարբեր սցենարներում նախատեսվում էր մեթան գազը կամ ջրածինը:

Մեկ այլ աշխատանքում մոդելավորվել է Գերմանիայի էներգետիկ համակարգի ապագան մինչև 2050 թվականը, գնահատվել են վերականգնվող էներգետիկայի հնարավորությունները, որոշվել անհրաժեշտ գազի մթնոլորտ արտանետումների քանակները [7]:

Այս մոդելները ցույց են տալիս, որ 21-րդ դարում վերականգնվող էներգետիկան դառնալու է էներգիայի արտադրության առաջնային նշանակության ուղղություն [8,9]: Մյուս կողմից, հաշվի առնելով վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների ոչ հաստատուն արտադրություն ապահովելու փաստը, անհրաժեշտ է ծածկել պահանջարկի մի մասը ավանդական էներգիայի աղբյուրներով: Մթնոլորտում աղտոտումներից խուսափելու համար ուսումնասիրվել են վերականգնվող էներգետիկ կայանքների աճի հնարավոր տեմպերը ՀՀ-ում մինչև 2050 թվականը, գնահատվել ՋԷԿ-երի միջոցով արտադրվող էներգիայի քանակը նույն ժամանակահատվածում, և որոշվել մթնոլորտ արտանետված CO₂-ի քանակը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Համակարգային դինամիկայով մոդելների կառուցման համար օգտագործվում են հաստատուն մեծություններ՝ մուտքային տվյալներ և գործակիցներ, վիճակի պարամետրեր՝ ժամանակից և այլ գործոններից կախված փոփոխվող մեծություններ, որոնք բնութագրում են համակարգի վիճակը, և փոփոխման արագություններ [10]:

Հայաստանի Հանրապետության էներգետիկական համակարգի մոդելավորման համար որպես վիճակի պարամետրեր ընդունվել են՝

- ՀՀ բնակչությունը,

- էլեկտրաէներգիայի պահանջարկը,
- համախառն ներքին արդյունքը,
- շրջակա միջավայրի պաշտպանությանը վերաբերող պետական քաղաքականությունն արտահայտող գործակիցը,

- մթնոլորտ արտանետված ածխաթթու գազի ընդհանուր քանակը,
- ատոմային էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունը,
- քամու էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունները,
- արևային էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունները:

Վիճակի պարամետրերի փոփոխությունները կայանում են փոփոխման արագություններով: Մոդելում ներկայացված արագություններն են՝

- բնակչության աճ (ծնունդներ),
- բնակչության նվազում (մահեր),
- էլեկտրաէներգիայի պահանջարկի փոփոխություն,
- ածխաթթու գազի արտանետում,
- ՀՆԱ-ի աճ,
- պետական քաղաքականության փոփոխություն,
- ատոմային էլեկտրակայանների կառուցում,
- քամու էլեկտրակայանների կառուցում,
- արևային էլեկտրակայանների կառուցում,
- արևային էլեկտրակայանների ապամոնտաժում:

Համակարգում մուտքային պարամետրերից կախված օգտագործված փոփոխականներն են՝

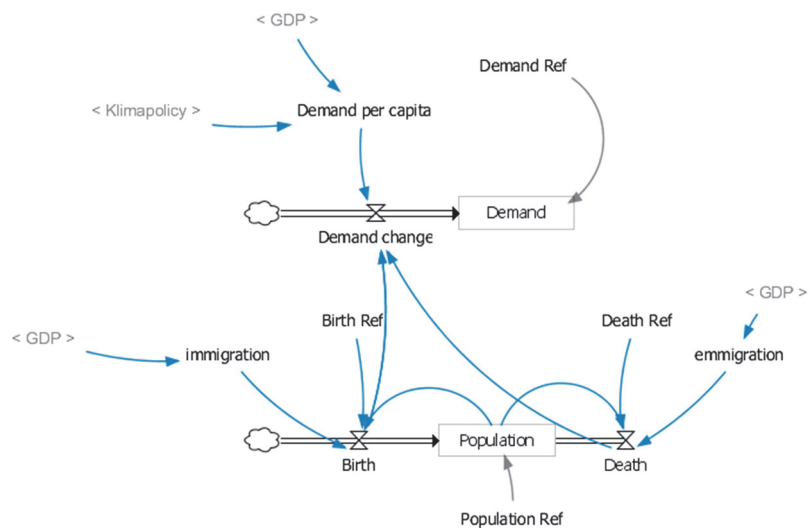
- էլեկտրաէներգիայի մեկ շնչին հասնող պահանջարկը,
- ներգաղթը,
- արտագաղթը,
- ատոմային էլեկտրական էներգիայի տարեկան արտադրանքը,
- հիդրոէլեկտրակայանների արտադրած էներգիան,
- գազային էլեկտրակայանների տարեկան արտադրած էներգիան,
- քամու էլեկտրակայանների տարեկան արտադրած էներգիան,
- արևային կայանների տարեկան արտադրած էներգիան,
- քամու էլեկտրակայանների կառուցման դիմադրությունը հասարակության կողմից,

- արևային էլեկտրակայանի տարեկան աշխատանքային ժամերը,
- արևային էլեկտրակայանների համար նախատեսված տարածքների սահմանափակումը:

Մոդելի ներկայացումն իրականացվել է համակարգային դինամիկայի դասական մեթոդով՝ գրաֆիկական պատկերման եղանակով՝ Simantics System Dynamics

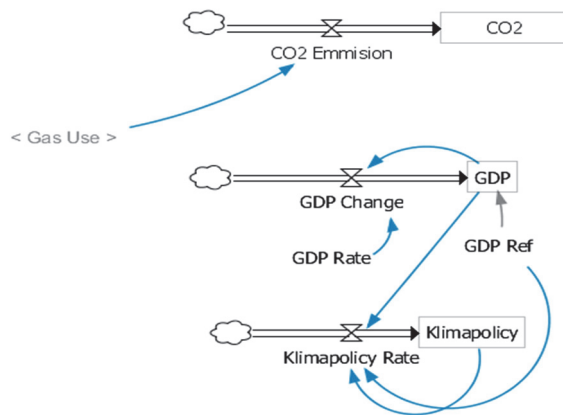
ծրագրային ապահովման միջոցով [9]: Ծրագիրը հնարավորություն է տալիս սիմուլացնել համակարգը՝ նշելով սկզբնական և վերջնական տարեթվերը, սիմուլյացիայի մեկ քայլի երկարությունը: Ծրագրում հնարավոր է ընտրել նաև դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծման մեթոդը: Մեր խնդրի ընթացքում ընտրվել է Էյլերի մեթոդը: Ծրագիրը հնարավորություն է տալիս սիմուլացնել համակարգը ինչպես դիտարկվող ողջ ժամանակահատվածում, այնպես էլ քայլ առ քայլ՝ տեսնելով փոփոխությունները և ընթացքում, անհրաժեշտության դեպքում, միջամտելով համակարգի աշխատանքին:

Նկ.1-ում բնակչության սկզբնական արժեքը՝ Population Ref-ը, կազմում է 2.935.000, Birth փոփոխման արագությունը արտահայտում է տվյալ ժամանակային փուլում ծնունդների և ներգաղթածների թվի գումարը, իսկ Death-ը՝ արտագաղթածների և մահերի գումարը: Ներգաղթյալների և արտագաղթածների թվերը որոշվում են՝ կախված պետության ՀՆԱ արժեքից:



Նկ. 1. ՀՀ էներգետիկ համակարգի մոդելի՝ բնակչության և էներգիայի պահանջարկի վիճակի պարամետրերի հոսքային դիագրամը

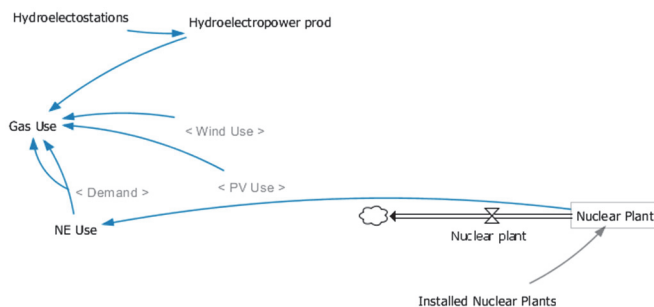
Նկ.2-ում ածխաթթու գազի մթնոլորտ արտանետումը որոշվում է ՋԷԿ-երի տարեկան օգտագործման և դրա հետևանքով արտանետված գազի քանակով: Մեկ շնչին բաժին հասնող ՀՆԱ-ի արժեքի տարեկան աճը սահմանվում է ՀՆԱ-ի աճի ներկայիս տեմպերով:



Նկ. 2. ՀՀ էներգետիկ համակարգի մոդելի 'ածխաթթու գազի արտանետման, ՀՆԱ-ի և շրջակա միջավայրի պահպանման պետական քաղաքականության վիճակի պարամետրերի հոսքային դիագրամը

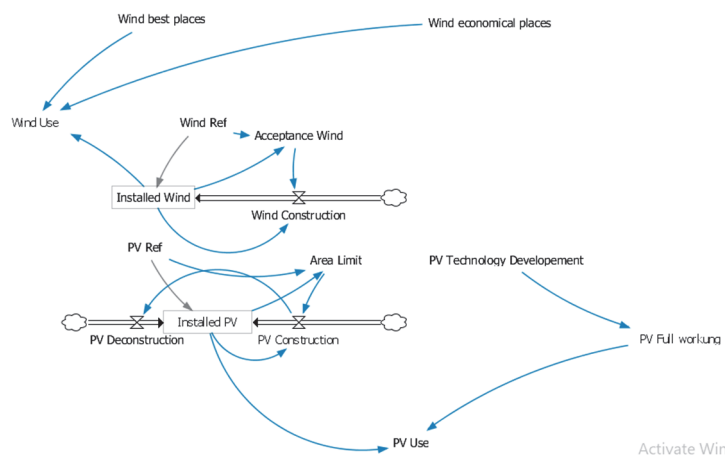
Շրջակա միջավայրի պաշտպանության գործակիցը կախված է ՀՆԱ-ի աճից, այսինքն՝ պետության զարգացածության աստիճանից:

Մոդելում ընդունվել է, որ պայմանավորված ջրային պաշարների սահմանափակմամբ, ինչպես նաև հիդրոէներգետիկայի բավարար զարգացածության աստիճանով՝ ՀՀ-ում մինչև 2050 թվականը նոր մեծամասշտաբ հիդրոէլեկտրակայաններ չեն կառուցվելու: Ուստի հիդրոէներգետիկայի օգտագործումը որոշվում է տարեկան աշխատանքային ժամերի և դրվածքային հզորության արտադրյալով: Ատոմային էներգետիկայի դեպքում հաշվի է առնվել, որ 2026 թվականին ՀՀ ԱԷԿ-ի դրվածքային հզորությունը նոր ռեակտորի կառուցմամբ հասցվելու է 600 ՄՎտ-ի: Ըստ մոդելի՝ տարվա ընթացքում ՋԷԿ-երը օգտագործվելու են այն դեպքում, երբ արևային, քամու, հիդրո- և ատոմային էներգիաները չեն բավարարի էլեկտրական էներգիայի պահանջարկը (նկ.3):



Նկ. 3. ՀՀ էներգետիկ համակարգի մոդելի 'ատոմային էլեկտրակայանների դրվածքային հզորության վիճակի պարամետրի և հիդրոէներգետիկայի ու ՋԷԿ-երի տարեկան արտադրած էներգիայի քանակի հոսքային դիագրամը

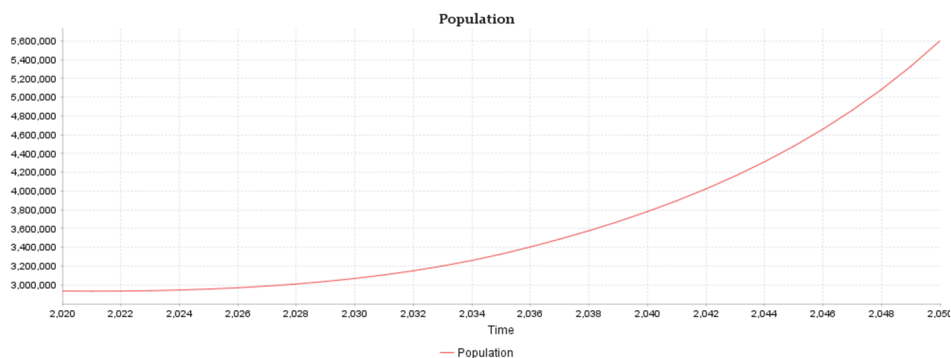
Նկ.4-ում որպես ներմուծվող պարամետրեր ներկայացվել են ՀՀ-ում քամու էլեկտրակայան տեղադրելու լավագույն և տնտեսապես շահավետ տարածքներում քամու էլեկտրակայանների տարեկան միջին աշխատանքային ժամերի քանակը, ներկայումս տեղադրված հզորությունը, արևային կայանների տեղադրված հզորությունը և աշխատանքային ժամերի միջին քանակը: Քամու և արևի էլեկտրակայանների տեղադրման տեմպերը հաշվարկելու համար օգտվել ենք երկու խոչընդոտող գործոններից՝ արևի դեպքում տարածքի սահմանափակումները, քամու դեպքում՝ հասարակության կողմից ընդունելիության գործակիցը:



Նկ. 4. ՀՀ էներգետիկ համակարգի մոդելի՝ քամու և արևային էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունների վիճակի պարամետրերի հոսքային դիագրամը

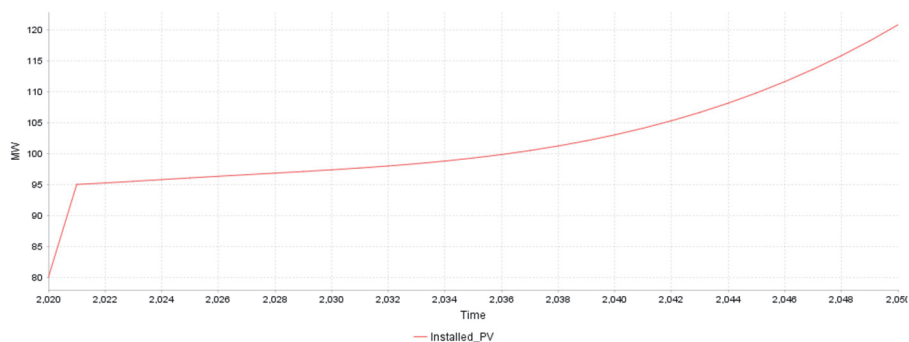
Մոդելում ներկայացված տարբեր ենթամոդելներն աշխատում են միասին մի ընդհանուր համակարգում: Ծրագրային ապահովման միջոցով հնարավոր է կառուցել ՀՀ էներգետիկ համակարգի փոփոխությունների կախվածությունը ժամանակից մինչև 2050 թվականը:

Հետազոտության արդյունքները: Որպեսզի ամփոփվեն հետազոտության արդյունքները, առանձնացվել են վիճակի պարամետրերից մի քանիսը, որոնք առանցքային են էներգահամակարգի համար: Նախ էներգիայի պահանջարկի և պետության զարգացման համար կարևոր նշանակություն ունի բնակչության փոփոխությունը: Մոդելավորված տվյալներով 2050 թվականին ՀՀ բնակչությունը կհասնի 5.6 մլն-ի և կցուցաբերի էքսպոնենցյալ աճի վարք (նկ.5):

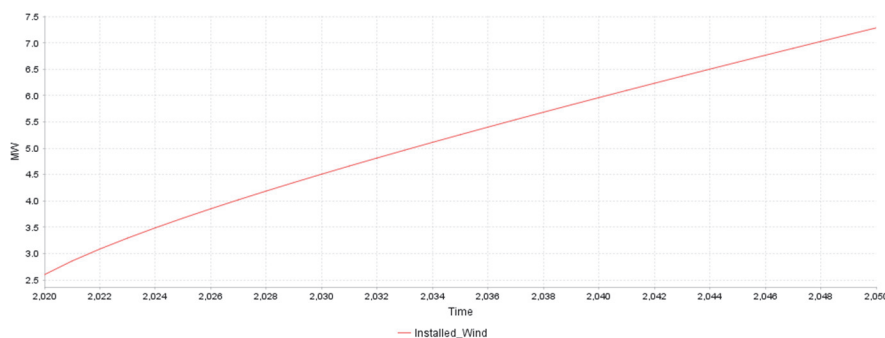


Նկ. 5. ՀՀ բնակչության աճը մինչև 2050 թվականը

Քանի որ վերականգնվող էներգիայի աղբյուրները ամենաարագ զարգացողն ու դինամիկն են, անհրաժեշտ է ուշադրություն դարձնել նաև 2050-ին արևային և քամու էլեկտրակայանների դրվաճքային հզորություններին (նկ.6,7): Մյուս կողմից՝ նմանատիպ կայանների տեղադրումն ու շահագործումը առաջացնում են մարտահրավերներ ցանցի կայուն աշխատանքի համար, ինչը պարտադիր է հաշվի առնել:



Նկ. 6. Արևային էլեկտրակայանների դրվաճքային հզորությունը ՀՀ-ում 2020-2050 թթ.



Նկ. 7. Քամու էլեկտրակայանների դրվաճքային հզորությունը ՀՀ-ում 2020-2050 թթ.

Ինչպես երևում է նկարներից, ի տարբերություն էքսպոնենցիալ աճող արևային էլեկտրակայանների հզորության, քամու էլեկտրակայանների հզորությունն աճում է լոգարիթմական գրաֆիկով և որոշակի արժեքի հասնելով՝ կայունանալու է: Արևային էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունը իր հերթին նույնպես հասնելու է մաքսիմումի կետին, ինչը, սակայն, տեղի չի ունենում դիտարկվող ժամանակահատվածի ընթացքում: Ըստ մոդելի՝ 2050-ին ՀՀ-ում կառուցված կլինեն 120 ՄՎտ արևային և 7.5 ՄՎտ քամու էլեկտրակայաններ: Այս արժեքներում հաշվի են առնվել նաև էլեկտրակայանների շարքից դուրս գալն ու ամորտիզացիոն ժամկետի ավարտը:

Եզրակացություն.

- մոդելավորվել է Էներգետիկ տնտեսության համակարգ՝ համակարգային դինամիկայի մեթոդով,
- իրանականացվել է մոդելի աշխատանքի սիմուլյացիա՝ մինչև 2050 թվականը, օգտագործելով 2020 թվականի տվյալները,
- արտածվել են Էներգիայի աղբյուրների տարեկան օգտագործման քանակները, էլեկտրակայանների դրվածքային հզորությունները, երկրի բնակչության, ՀՆԱ-ի արժեքները, մթնոլորտ արտանետված CO₂ գազի քանակը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. System dynamics review: The journal of the System Dynamics Society. - 1985.- 369 p., <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10991727>
2. **Hamacher T., Gawlik J., Bujandric A., Vesperman N.** Modellierung von Energiesystemen: Lectures of TUM.- 2020.- 8 p.
3. **Dangerfield B.** System Dynamics: Theory and Applications // Springer.- 2020.- P. 3-7.
4. **Karnopp D., Margolis D., Rosenberg R.** System dynamics: modeling, simulation, and control of mechatronic systems, fifth edition.- Wiley, 2012.- 5 edition.- 636 p. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118152812>
5. **Bardi U.** The limits to growth revisited // Springer Briefs in energy.- 2011.- P. 1-29, <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4419-9416-5>
6. Energy Needs, Choices and Possibilities.- Shell Group, 2001.- 64 p.
7. **Drnoyan A., Kälber S.** Modellierung des Energiesystems Deutschland / Teamprojekt an der TUM.- 2021.- 113 p.
8. **Knopf B., Nahmmacher P., Schmid E.** The European renewable energy target for 2030 – An impact assessment of the electricity sector // Energy policy.- 2015.- Vol. 85.- P. 50-60.
9. ՀՀ Էներգետիկայի բնագավառի զարգացման ռազմավարական ծրագիր (մինչև 2040).- 2020.- 61 էջ:
10. **Machowski J., Lubosny Z., Bialek J.** Power system dynamics: stability and control .- Wiley, 2012.-888 p.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.11.2021:

А.А. ДРНОЯН

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ РА МЕТОДОМ
СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ И ПРОГНОЗЫ НА 2050 ГОД**

Проведено моделирование энергетической экономики методом системной динамики с помощью программного обеспечения Simantics System Dynamics. Выражены структура системы, взаимодействия и изменения параметров состояния системы на 2021-2050 годы. Прогнозируется, что к 2050 году солнечная и ветровая энергетики получат большую долю в энергосистеме Армении. С другой стороны, Армянская атомная электростанция и Армянские тепловые электростанции не будут терять своей роли. Значительное влияние на спрос энергии оказывают также рост населения, развитие промышленности.

Ключевые слова: системная динамика, энергосистема, моделирование энергетической экономики.

A.A. DRNOYAN

**MODELING OF RA ENERGY ECONOMY BY THE METHOD OF SYSTEM
DYNAMICS AND FORECASTS FOR 2050**

Modeling of energy economy through system dynamics was carried out through Simantics System Dynamics software. The structure of the system, interactions, the changes of the parameters of the system state for 2021-2050 are expressed. As a result, by 2050 the Solar and wind power will gain a large share in the energy system of Armenia. On the other hand, the Armenian NPP and the Armenian thermal power plants will not lose their role. Population growth, industry development also have a significant impact on energy demand.

Keywords: system dynamics, energy system, modeling of energy economy.