

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Փիլիպոսյան Տիգրան Վարդանի

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՇՈՒԿԱՆԵՐՈՒՄ ԳՈՐԾԱՐՔՆԵՐԻ
ԱՄԲՈՂՋԱԿԱՆ ՊԱՀԱՆՋՆԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄ**

*Ը.00.08 - «Մաթեմատիկական տնտեսագիտություն» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման*

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար (խորհրդատու)՝

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր
Օհանյան Վիկտոր Կարոյի

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տնտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Գևորգյան Ռուբեն Ալբերտի

Ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու
Բարդախյան Վարդան Գևորգի

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայ-ռուսական (սլավոնական)
համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018թ. հունիսի 14-ին ժամը 15⁰⁰-ին Երևանի պետական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈՂ-ի 050 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2018թ. մայիսի 14-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝

Վ. Հարությունյան

Ատենախոսության ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը: Օպտիմալ միացման ներկայացված խնդրի հիմքում ընկած պայմանագիրը էներգետիկային վերաբերող ածանցյալ պայմանագրերի մեջ ամենաբարդ ածանցյալ գործիքներից է համարվում: Սարքի միջոցով օգտագործվող վառելիքի վերածումը էլեկտրաէներգիայի՝ իրականացվում է որոշակի գործակցով, որը անվանում ենք փոխանակման միավոր: Այսինքն, այդ գործակիցը չափում է վառելիքի այն ծավալը, որն անհրաժեշտ կլինի 1 միավոր էլեկտրաէներգիա արտադրելու համար: Որքան ցածր լինի այդ գործակիցը, այնքան ավելի արդյունավետ կաշխատի էլեկտրակայանը:

Ատենախոսությունում ներկայացված է, թե ինչպես կարելի է լուծումներ փնտրել և գտնել այս տիպի խնդիրների առկայության դեպքում, և թե ինչպես կարելի է այս տիպի խնդիրները կիրառել ապրանքային ֆյուչերսների դեպքում, որոնց գինն ավելի արդյունավետ է հաշվարկել Մարկովյան մոդելների միջոցով:

Ֆյուչերսների շուկաներում տրված են առավելագույն, նվազագույն, բացման և փակման գների մասին ինֆորմացիա: Ատենախոսության մեջ վերցված են այդ գները, և ցուցադրված է, թե ինչ բաշխում ունեն մաքսիմումները, մինիմումները և լայնույթը:

ՓԶՄ-ը (Փենսիլվանիա - Նյու Ջերսի - Մերիլենդ) և ՍՓՓ-ն (Հարավ-արևմտյան էներգաբլոկ) Ամերիկայի Միացյալ Նահանգներում տարածաշրջանային փոխանցման կազմակերպություններ են: Ատենախոսությունում կհետազոտենք այդ խոշոր շուկաները:

Վիրտուալ գործարքները ՓԶՄ և ՍՓՓ շուկաներում հանդիսանում են աճուրդային գործարքներ: Գոյություն ունեն «ընթացիկ» և «օր-առաջ» շուկաներ, որոնց աճուրդին հնարավոր է մասնակցել և շահելու դեպքում՝ գնել էլեկտրաէներգիա՝ հաղթած արժեքով: Վիրտուալ գործարքները երկկողմանի շուկայի արժեքավոր բաղադրիչներն են:

Շուկայի բոլոր մասնակիցներն ունեն «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գները՝ ժամային հաճախականությամբ: Ատենախոսության մեջ վերցնում ենք «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գների մի մեծ նմուշ և փորձում տեսնել, թե ինչ բաշխում ունեն «ընթացիկ» գների եկամտաբերությունները: Այնուհետև կատարում ենք ռեգրեսիա «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գների միջև՝ տեսնելու, թե ինչպես են դրանք միմյանց հետ կապված:

Նաև ատենախոսությունում նկարագրվում է գործարքների ամբողջական պահանջների մոդելը էլեկտրաէներգիաների շուկաներում:

Ամբողջական պահանջի գործարքի պայմաններում էներգիայի վաճառողը ներառում է պայմանագրային պարտադիր պարտավորություն՝ հաճախորդի պահանջները բավարարելու համար, նախապես սահմանված սահմաններում: Վերին կամ ստորին սահմանները կարող են հեռացվել կամ կարող են այնքան լայն լինել, որ էլեկտրաէներգիա վաճառողը կարող է պարտավորվել ներգրավել ամբողջ սպառողական ռիսկը՝ կապված հաճախորդի էներգիայի օգտագործման տատանումների հետ:

Ամբողջական պահանջների գործարքները կարող են ներառել հաճախորդի էներգետիկ ակտիվների պորտֆելի կառավարումը (ֆիզիկական ակտիվության ակտիվներ, վառելիքի պահեստներ, վառելիքի ձեռքբերում և փոխադրման պայմանագրեր և այլն): Պայմանագրային պարտավորությունները նախատեսում են ֆիքսված (անընդհատ կամ փոփոխական) պայմանագրային գներ, հանրային հասանելի ապրանքային ինդեքսների հիման վրա լողացող գներ, բանաձևի վրա հիմնված գներ, որոնք վերաբերում են այլ փոփոխականներին, ինչպիսիք են էներգիայի գները, օգտագործման ծավալները, շրջակա միջավայրի փոփոխականները, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը կամ համադրությունը բոլոր վերոհիշյալ մոտեցումներից:

Այսպիսով՝ ներկայացվում են մոդելներ և մեթոդներ ամբողջական պահանջների գործարքների գների հաշվարկման և դրանց ռիսկերի կառավարման:

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները: Աշխատանքի հիմնական նպատակն ու խնդիրներն են՝

1. էլեկտրաէներգիայի շուկաներում գտնել ավելի մատչելի տարբերակներ՝ էլեկտրաէներգիա ձեռք բերելու համար,
2. մոդելավորել օպտիմալ կառավարման խնդրի հիմքում ընկած ապրանքային ֆյուչերսների գները՝ դրանցից բախկացած նմուշի մաքսիմումի, մինիմումի և լայնույթի միջոցով,
3. ստանալ մեթոդ, որի միջոցով կարելի է՝ ունենալով նմուշի մաքսիմումի և մինիմումի բաշխումները, ստանալ նմուշի բաշխման ֆունկցիան:

Այս նպատակին հասնելու համար, աշխատանքում

1. դիտարկվել է ֆիքսված ռեժիմներով աշխատող էլեկտրաէներգիայի կայանների աշխատանքը՝ այնտեղ ավելացնելով Մարկովյան մոդելներ,
2. դիտարկվել է ֆյուչերսների շուկաներում տրված նմուշի մաքսիմումի, մինիմումի և լայնույթի բաշխման ֆունկցիաները,
3. հետազոտվել է Ամերիկայի Միացյալ Նահանգների խոշորագույն երկու շուկաների՝ «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գները,

4. դիտարկվել է էլեկտրաէներգիայի շուկաներում գործարքների ամբողջական պահանջների գների հաշվարկումն ու ռիսկերի կառավարումը:

Հետազոտության մեթոդաբանությունը: Հետազոտության հիմնական մեթոդները հիմնված են հավանականային տեսության մոդելների վրա, ուսումնասիրությունում կիրառվել են «Մաթլաբ» և «Աո» մաթեմատիկական և հավանականային տեսության ծրագրավորման փաթեթները, որոնց կողերը և տված արդյունքները արտացոլված են աշխատանքում և հավելվածների բաժնում:

Աշխատանքում կիրառվում են

1. Մարկովյան մոդելներ ապրանքային ֆյուչերսների համար,
2. հավանականային տեսության բաշխումներ,
3. չափի տեսության հասկացություններ,
4. տնտեսաչափության և ստոխաստիկ մոդելավորման լայն գործիքակազմ:

Գիտական նորույթը: Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն են՝

1. գազի ֆյուչերսների գների մաքսիմումներն ու մինիմումներն ունեն լոգ-լոգիստիկ բաշխման ֆունկցիա,
2. ունենալով ապրանքային ֆյուչերսների նմուշի մաքսիմումի և մինիմումի բաշխման ֆունկցիաները՝ տրվել է նմուշի բաշխման ֆունկցիան: Այս մեխանիզմի միջոցով կարելի է զգալիորեն քաջացնել դիտարկումների ծավալը, նմուշներից անցնելով միայն մաքսիմումների և մինիմումների:
3. էլեկտրաէներգիայի շուկաներում եկամտաբերություններն «ընթացիկ» գների դեպքում պատկանում են Պիրսոնի բաշխումների ընտանիքին, մասնավորապես, ՓՋՄ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերություններն ունեն Պիրսոնի 4-րդ դասի բաշխում, իսկ ՍՓՓ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերություններն ունեն Պիրսոնի 6-րդ դասի բաշխում և «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գները միմյանց հետ կոռելացված են:

Ատենախոսության արդյունքների տեսական և կիրառական նշանակությունը:

Աշխատանքի արդյունքները կրում են թե՛ տեսական, թե՛ գործնական բնույթ: Աշխատանքում ձևակերպված թեորեմները առաջին հերթին կարող են օգտագործվել էլեկտրաէներգիաների շուկաներին վերաբերող բազմաթիվ տեսական մոդելներում: Այդ թեորեմները վերաբերում են ֆյուչերսների շուկաներում գների մաքսիմումների, մինիմումների և լայնույթի բաշխման ֆունկցիաներին, ՍՓՓ և ՓՋՄ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերությունների բաշխման

ֆունկցիաներին: Արդյունքների մի մասը վերաբերվում է գործնական արդյունքներին, որոնք կիրառելով կարելի է ունենալ շահույթներ, մասնավորապես էլեկտրաէներգիաների շուկաներում կարելի է կիրառել աշխատանքում ստացված կանխատեսումները և ձեռք բերել հնարավորինս մատչելի էլեկտրաէներգիա՝ աճուրդներին ճիշտ հայտեր ներկայացնելով:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից՝ որոնք ամեն մեկն իր հերթին բաղկացած է ենթագլուխներից, եզրակացությունից, գրականության ցանկից, հեղինակի հոդվածների ցուցակից, հավելվածներից և նշանակումների ցանկից:

Ատենախոսությունը շարադրված է հետևյալ հերթականությամբ: Առաջին գլուխը նվիրված է օպտիմալ կառավարման խնդրի կիրառությանը՝ էլեկտրաէներգիաների շուկաներում: Երկրորդ գլխում ներկայացված են էլեկտրաէներգիաների շուկաներում ֆյուչերսների տրված գների նմուշի մաքսիմումի, մինիմումի և լայնույթի բաշխման ֆունկցիայի մասին ենթադրություններ: Երկրորդ գլխում ներկայացված են ԱՄՆ-ում ամենախոշոր էլեկտրաէներգիայի շուկաների՝ ՓՋՄ և ՍՓՓ «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գների բաշխման ֆունկցիաները և դրանց միջև ռեգրեսիան: Չորրորդ գլուխը նվիրված է էլեկտրաէներգիայի շուկաներում գործարքների ամբողջական պահանջների մոդելին:

Եզրակացությունում ներկայացված են հիմնական արդյունքները: Գրականության ցանկում ներկայացված են բոլոր աղբյուրները, որոնք օգտագործվել են աշխատանքում: Հաջորդիվ տրված են հավելվածները և նշանակումների ցանկը:

Բոլոր գլուխները բաժանված են ենթագլուխների: Բոլոր գլուխների սկզբում նախապես համառոտ կերպով ներկայացված է գլխի բովանդակությունը: Ենթագլուխներում նույնը կատարված է ըստ անհրաժեշտության:

Աշխատանքում կան երկու տիպի հղումներ՝ տեքստի ներսում և տողատակով: Առաջինը կիրառված է, երբ ուղղակի բերվում է օգտագործված աղբյուրը: Տողատակով հղումները կիրառված են, երբ տրվում է որոշակի լրացուցիչ պարզաբանում:

Բոլոր նշանակումները, անկախ նշանակումների ցանկում տեղ գտնելուց, առանձին սահմանված են բուն ատենախոսություն մեջ, կա՛մ օգտագործվելուց առաջ, կա՛մ անմիջապես հաջորդող տեքստում:

Ատենախոսության հիմնական բովանդակությունը

Ատենախոսության ներածությունում ներկայացված են հիմնական դրույթները, արդյունքները: Հիմնավորված է արդիականությունը: Ներկայացված են

նպատակները, արդյունքներին հասնելու համար օգտագործված մեթոդները, աշխատանքի գործնական և տեսական նշանակությունը: Հիմնավորված է գիտական նորույթ լինելը: Ներկայացված է աշխատանքի կառուցվածքը և աշխատանքի վերաբերվող հրատարակությունների քանակը:

Առաջին գույլը նվիրված է օպտիմալ կառավարման խնդիրներին, դրանք շատ մեծ կարևորություն ունեն ֆինանսական մաթեմատիկայի և տնտեսագիտության ասպարեզում: Տարիների ընթացքում այս տիպի խնդիրները ստացել են մեծ զարգացում:

Օպտիմալ միացման ներկայացված խնդրի հիմքում ընկած պայմանագիրը էներգետիկային վերաբերող ածանցյալ պայմանագրերի մեջ ամենաբարդ ածանցյալ գործիքներից է համարվում: Սարքի միջոցով օգտագործվող վառելիքի վերածումը էլեկտրաէներգիայի՝ իրականացվում է որոշակի գործակցով, որը անվանում ենք փոխանակման միավոր: Այսինքն, այդ գործակիցը չափում է վառելիքի այն ծավալը, որն անհրաժեշտ կլինի 1 միավոր էլեկտրաէներգիա արտադրելու համար: Որքան ցածր լինի այդ գործակիցը, այնքան ավելի արդյունավետ կաշխատի էլեկտրակայանը: Կնքված է պայմանագիր, որի համաձայն անհրաժեշտ է գտնել վառելիքի օգտագործման ծավալների և սարքի աշխատանքային ռեժիմի միջև օպտիմալ բաշխումը (տես [1]):

Դիցուք ունենք հետևյալ բաժինները (բլոկները)՝

- I. 0:00-8:00 (երկուշաբթիից ուրբաթ),
- II. 8:00-24:00 (երկուշաբթիից ուրբաթ),
- III. 0:00-24:00 (շաբաթ և կիրակի):

Այսինքն՝ էլեկտրականության գները տարբեր են այս երեք ժամանակահատվածների համար:

Համարենք, որ $X_t = (P_t, G_t)$ -ն R^k չափանի շարժման պրոցես է, որտեղ G_t -ն վառելիքի գնի պրոցեսն է, իսկ P_t -ն՝ էլեկտրականության գնի $(k-1)$ -չափանի պրոցեսը:

Ենթադրենք, որ էլեկտրաէներգիա մատուցելու պայմանագիրը կնքված է T տարով, և $[0, T]$ ժամանակահատվածը բաժանված է վերջավոր քանակությամբ միջակայքերի: Ենթադրենք, որ յուրաքանչյուր բլոկի համար t պահին ունենք աշխատանքային ռեժիմի M վիճակներ՝ $0, 1, \dots, M-1$: Դիցուք 0 ՝ սարքի անջատված վիճակ, $1 = C_{min}$, որը նշանակում է, որ սարքը աշխատում է մինիմալ հզորությամբ, և վերջինը՝ $M-1 = C_{max}$, այսինքն սարքը աշխատում է մաքսիմալ հզորությամբ: Ավելացնենք նաև կառավարող գործընթաց՝ $\gamma = \gamma(t)$, որը կնկարագրի սարքի որոշակի վիճակում աշխատելը՝ ժամանակի ինչ-որ պահին:

Դիցուք $r(t)$ -ն $[t, T]$ միջակայքում սարքի բոլոր հնարավոր աշխատանքային վիճակների բազմությունն է: Խնդիրը կայանում է հետևյալ ֆունկցիայի արգումենտը գտնելու մեջ՝

$$\sup_{\gamma \in r(t)} E[H(x, i, [t, T]; \gamma) | X_t = x, \gamma(t) = i],$$

որտեղ E -ն H ֆունկցիայի պայմանական մաթ-սպասումն է $X_t = x$, և $(t) = i$ պայմանների առկայության դեպքում, իսկ H -ը՝ աշխատանքային վիճակում գտնվելու դեպքում, $[t, T]$ միջակայքում աշխատելու արդյունքում ժամանակի T պահին վաստակած շահույթի ֆունկցիան է: Դիցուք X_i շարժման պրոցեսը k -չափանի դիֆուզիոն պրոցես է: Ենթադրենք (Ω, F, P) ֆիլտրված հավանականային տարածության մեջ սահմանված է $W = W(t)_{0 \leq t \leq T}$ Վիեներյան պրոցեսը, որտեղ $W_0 = 0$ համարյա հավաստի: Աշխատանքը նկարագրվում է հետևյալ ստոխաստիկ դիֆերենցիալ հավասարմամբ՝

$$dX_t = \mu(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dW_t + J(t, X_t)[dN_t - \tau(t, X_t)dt],$$

որտեղ $(N_t)_{0 \leq t \leq T}$ -ն Պուասոնյան պրոցես է $\tau(t, X_t)$ ինտենսիվությամբ, իսկ $\mu(t, X_t)$ և $\sigma(t, X_t)$ -ն՝ համապատասխանաբար՝ շարժման պրոցեսի դրիֆտն ու վոլատիլիությունը: Այսպիսով $X_t = (P_t, G_t) = (P_t([I]), P_t([II]), P_t([III]), G_t)$ -ն R^4 -ում շարժման պատահական ստոխաստիկ պրոցեսն է: Եթե պայմանագիրը կնքված է 5 տարով, ապա $t=1, 2, \dots, T(=2 \times 5 \times 365)=3650$, որտեղ յուրաքանչյուր օր բաժանված է երկու բլոկի: Ենթադրենք, որ յուրաքանչյուր բլոկում ժամանակի t պահին ունենք $M \geq 3$ վիճակներ՝ $0, 1, 2, \dots, M-1$: Եթե սարքի աշխատելու հզորությունը տատանվում է C_{min} -ի և C_{max} -ի միջև, ապա այդ ինտերվալը բաժանելով $M - 2$ հավասար մասի՝ կստանանք $\frac{C_{max}-C_{min}}{M-2}$ երկարությամբ միջակայքեր և կունենանք սարքի աշխատանքային ռեժիմի M վիճակ, դրանք են՝ 0 -ական վիճակ, երբ սարքը անջատված է, առաջին վիճակ՝ C_{min} , սարքը աշխատում է մինիմալ հզորությամբ, երկրորդ վիճակ՝ $C_2 = C_{min} + \frac{C_{max}-C_{min}}{M-2}$ և այլն, m -րդ վիճակ՝ $C_m = C_{min} + (m - 1) \times \frac{C_{max}-C_{min}}{M-2}$, որտեղ $m=1, 2, \dots, M-1$, և վերջին վիճակը՝ $C_{M-1} = C_{max}$, այս պարագայում սարքը աշխատում է մաքսիմալ հզորությամբ:

Ենթադրենք, որ $\varphi(P_t([I]), G_t, i)$ -ն վճարման ֆունկցիան է $[I]$ բլոկի համար, երբ սարքը աշխատում է i -րդ վիճակում: Այսպիսով՝

$$\begin{aligned} \varphi(P_t([I]), G_t, 0) &\equiv 0, \\ \varphi(P_t([I]), G_t, i) &= C_i \times [P_t([I]) - v_i \times G_t - K_i] \\ &= \left[C_{min} + (m - 1) \times \frac{C_{max} - C_{min}}{M - 2} \right] \times [P_t([I]) - v_i \times G_t - K_i], \end{aligned}$$

որտեղ K_i -ն գործառնական ծախսերն են՝ i -րդ վիճակում աշխատելիս, v_i -ն էլեկտրակայանի աշխատանքի ընթացքում 1 միավոր էլեկտրականության ծավալ ապահովելու համար անհրաժեշտ վառելիքի չափն է՝ սարքի $i = 1, 2, \dots, M - 1$

վիճակում աշխատելիս, $P_t([I])$ -ը $[I]$ -ին բրկում աշխատելու ընթացքում էլեկտրականության գինն է, և C_i -ն i -րդ վիճակում աշխատելիս՝ սարքի հզորությունն է: $P_t([I]) - v_i \times G_t - K_i$ արտահայտությունը $[I]$ բրկում սարքի i -րդ վիճակում աշխատելու դեպքում 1 միավորի համար եկամուտն է: Էլեկտրակայանի արտադրության ծավալի փոփոխումը մեկ ռեժիմից մյուսը, ծախսատար է և բերում է հավելյալ վառելիքի և հավելյալ ծախսերի առաջացման: Այդ պատճառով ներմուծենք i -ից j վիճակ փոփոխման ծախս՝ $a_{ij}(t, X_t)$, $a_{ii} \equiv 0$: Իսկ սկզբնական միացման ծախսը ավելի մեծ է ցանկացած a_{ij} -ից, և բոլոր մնացած a_{ij} -երը ոչ բացասական են և բավարարում են հետևյալ պայմանին՝ $a_{ij} \leq a_{ik} + a_{kj}$, $\forall i, j, k$: Կարող ենք նաև ներմուծել կառավարման $\gamma = \gamma(t)$ պրոցեսը, որը դինամիկ ընտրված և ադապտացված է $\{X_s: 0 \leq s \leq t\}$ -ն պարունակող F_t^x մինիմալ σ -հանրահաշվում: Քանի որ կառավարման որոշումները կայացվում են դիսկրետ պահերին, կարող ենք ներմուծել կառավարման ֆունկցիա՝ $\gamma = ((\varepsilon_1, \tau_1), (\varepsilon_2, \tau_2), \dots, (\varepsilon_T, \tau_T))$, որտեղ ε_k -երը ընդունում են արժեքներ $\{Off, C_{min}, \dots, C_{max}\}$ M էլեմենտների բազմությունից, և $0 \leq \tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_{k-1} \leq \tau_k \leq \dots \leq T$, τ_k -երը կանգառի կամ փոփոխման պահերն են (սարքի աշխատանքային ռեժիմի փոփոխման պահերը):

$$\gamma(t) = \sum_{\tau_k < T} \varepsilon_k I_{[\tau_k, \tau_{k+1}]}(t):$$

Այսպիսով, ժամանակի T պահին ամբողջ շահույթի ֆունկցիան կառավարման $\gamma(t)$ պրոցեսի և $\omega \in \Omega$ ելքի դեպքում կլինի՝

$$H(x, i, [0, T]; \gamma)(\omega) = \int_0^T \varphi(X_s, \gamma(s)) ds - \sum_{\tau_k < T} a_{\gamma(\tau_k-0), \gamma(\tau_k)},$$

որտեղ $X_0 = x$ և $\gamma(0) = i$: Այս արտահայտության աջ մասի առաջին գումարելին $\gamma(t)$ -ին համապատասխան գումարային շահույթն է, իսկ երկրորդ գումարելին իրենից ներկայացնում է յուրաքանչյուր τ_k փոփոխման պահին մեկ ռեժիմից մյուսը անցման հետ կապված ծախսերի հանրագումարը: Դժվար չէ տեսնել, որ $\varphi(X_s, \gamma(s)) = \varphi(P_s([I]), G_s, i)$, եթե $\gamma(s) = i$ և $s \in [I]$ բրկից են: Սահմանենք $r(t)$ -ն՝ որպես $[t, T]$ միջակայքում բոլոր հնարավոր կառավարման ֆունկցիաների բազմություն: Նաև՝ $J(t, x, i; \gamma) = E[H(x, i, [t, T]; \gamma) | X_t = x, \gamma(t) = i]$:

Այսպիսով, խնդիրն այս ֆունկցիան մաքսիմալացնելն է՝ ըստ օպտիմալ կառավարման ֆունկցիայի, այսինքն, որոշել հետևյալ ֆունկցիան՝

$$J(t, x, i) = \sup_{\gamma \in \mathcal{R}(t)} J(t, x, i; \gamma):$$

$J(t, x, i)$ թվային ֆունկցիան գնահատում է $[t, T]$ ժամանակահատվածում էլեկտրակայանը աշխատեցնելուց ստացվող եկամտի պայմանական սպասվող մեծագույն արժեքը՝ տրված $X_t = x, \gamma(t) = i$ սկզբնական արժեքների համար: Մեր նպատակն է՝ հաշվել $J(t, x, i)$ թվային ֆունկցիան և գտնել γ^* օպտիմալ

կարգավորման ստրատեգիան. Եթե այն գոյություն ունի: Այս պարագայում $J(t, x, i)$ -ն կհասնի իր սուպրեմումին այդ կետում:

Եթե ենթադրենք, որ գործ ունենք դիսկրետ ժամանակի հետ, և կառավարման պրոցեսը անփոփոխ է $[\tau_k, \tau_{k+1}]$ միջակայքում, այսինքն՝ վառելիքի G_t գնի փոփոխման բազմությունը վիճակի փոփոխման պահերի ենթաբազմություն է, ապա հետևյալ հավասարությունը ցույց կտա սպասվող եկամտի և լավագույն վիճակում կանգնեցված սպասվող եկամտի տարբերությունը (տես [2]):

$$J(t, x, i) - \max_{m=1,2,3} J(t, x, i) E \left[\int_t^T \varphi_m(X_s, \gamma(s)) ds / X_t = x \right]:$$

Տեսնենք, թե մեր խնդրում ինչպես է ավելի օպտիմալ տեղաշարժվել մի ռեժիմից մյուսը: Եթե τ պահին i ռեժիմից j ռեժիմ անցնելը օպտիմալ է, ապա ցանկացած k ռեժիմի դեպքում՝ այնպիսին, որ $a_{ij} = a_{ik} + a_{kj}$, նույնպես օպտիմալ է ժամանակի τ պահին j -ին անցնելը: τ պահին i ռեժիմից j -ին անցնելը նշանակում է՝

$$-a_{ij} + J(\tau, X_\tau, j) > -a_{ik} + J(\tau, X_\tau, k),$$

$$-a_{kj} + J(\tau, X_\tau, j) > J(\tau, X_\tau, k):$$

Սա ցույց է տալիս, որ τ պահին j ռեժիմին անցնելը ավելի լավ է, քան k ռեժիմում մնալը: Դիտարկելով ապրանքային ֆյուչերսների ամենատարածվածներից մեկը՝ բնական գազի վրա գրված ֆյուչերսները՝ օգտվենք Նյու Յորքի Ապրանքային բորսայի՝ “NYMEX”-ի կողմից հրապարակվող՝ բնական գազի ֆյուչերսների վերաբերյալ օրեկան կտրվածքով պատմական տվյալներից:¹ Վերցնենք բավականին մեծ հատված, որպեսզի կատարվող դիտարկումները լինեն հնարավորինս իրատեսական: Դիցուք ունենք 1994 թվականի հունվարի 13-ից մինչև 2016 թվականի մայիսի 27-ի տվյալները: Եվ դիտարկենք, որ էլեկտրակայանի աշխատելու համար պահանջվող գազը ձեռք ենք բերում բնական գազի ֆյուչերսների միջոցով, որոնց համար կիրառում ենք վերը նշված մարկովյան մոդելները:

Ֆյուչերսների գները կկիրառենք $\varphi(P_t([I]), G_t, i)$ վճարման ֆունկցիայում, որպես $P_t([I])$ ՝ $[I]$ -ին բրկում աշխատելու ընթացքում էլեկտրականության գին: Քանի որ ֆյուչերսային պայմանագրի հիմնական նպատակը դեֆոլտի ռիսկի կրճատումն է՝ այսպիսով կկարողանանք կրճատել այդ ռիսկը (տես [3]):

Դիտարկենք նաև մարկովյան ռեժիմների փոփոխմամբ GARCH մոդելներ: Այս տիպի մոդելների հիմնական առավելությունն այն է, որ նրանք թույլ են տալիս Մարկովյան պրոցեսի համաձայն փոփոխել մոդելում ներառված պարամետրերը՝ տարբեր ռեժիմներում դիտարկելով: Ենթադրենք, նաև, որ մեր պորտֆելի R_t եկամտաբերության պատահական պրոցեսը GARCH է:

¹ Բացառությամբ՝ ոչ աշխատանքային օրերի:

Այդ մոդելը EvIEWS վիճակագրական փաթեթի աշխատեցնելու արդյունքում, ենթադրելով, որ ε_t ադմուկները ունեն Ստուդենտի t բաշխում, կստանանք Հավելված 1-ի արդյունքները, որոնցից հետևում է, որ իմաստ ունի կիրառել GARCH այս մոդելում (տես [4]):

Դիտարկենք հետևյալ խնդիրը՝ մաքսիմալացնել ստացվող շահույթը $[0, T]$ ժամանակահատվածում՝ ինչ-որ ֆինանսական կազմակերպության ֆյուչերսներում՝ մասնավորապես ապրանքային, զբաղեցրած դիրքը փոփոխելով: Այսինքն, օպտիմալ կերպով փոփոխելով ունեցած դիրքը այդ ապրանքային ֆյուչերսների պայուսակում, փորձել ստանալ առավելագույն եկամուտ՝ հաշվարկելով այդ ֆյուչերսների գները Մարկովյան մեթոդով:

Ենթադրենք, ունենք երեք տարբեր ռեժիմներ՝ $\rho_1 = -1, \rho_2 = 0, \rho_3 = 1$:

Առաջինն այն դեպքն է, երբ կազմակերպությունը գրավում է կարճ դիրք, երկրորդ դեպքում կազմակերպությունը անտարբեր է պորտֆելի եկամտաբերության փոփոխության նկատմամբ, իսկ երրորդ դեպքում կազմակերպությունը գրավում է երկար դիրք: $[0, T]$ ժամանակահատվածում շահույթը նշանակենք հետևյալ կերպ՝

$$\varphi_i(t, R_t) = \rho_i R_t - K_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

որտեղ R_t -ն բաժնետոմսի եկամտաբերությունն է t պահին, իսկ K_i -ն գործառնական ծախսերի մեծությունն է:

$\gamma = ((\xi_1, \tau_1), (\xi_2, \tau_2), \dots)$ -ն ժամանակից կախված ստրատեգիան նկարագրող կարգավորման պրոցեսն է, որտեղ ξ_i -ն զբաղեցրած դիրքերին համապատասխան ռեժիմներն են, իսկ τ_2 -երը՝ այդ ռեժիմների փոփոխման պահերը:

Հաշվի առնելով վերին նշանակումները և ω սցենարի դեպքում՝ վաստակած շահույթը մինչև ֆիքսված T պահը կլինի՝

$$H(r, i, [0, T]; \gamma)(\omega) = \int_0^T \varphi_{\gamma_t}(t, R_t(\omega)) dt - \sum_{\tau_k < T} a_{\gamma_{\tau_k} - \gamma_{\tau_k}}, \quad (1)$$

ավելացնենք նաև $R_0 = r, \gamma_0 = i$ պայմանները, որը կնշանակի, որ ժամանակի 0 պահին երբ սկսում ենք տիրապետել տվյալ պորտֆելը, բաժնետոմսի եկամտաբերությունը r է, և այդ պորտֆելը պարունակում է որոշակի քանակությամբ ֆյուչերսներ. այն կարող ենք համարել սկզբնական զբաղեցրած դիրք: Արդյունքում մեր խնդիրը, տվյալ պորտֆելի տիրապետման ընթացքում օպտիմալ կառավարման ստրատեգիա ընտրելով, (1)-ի պայմանական մաթ-սպասման մաքսիմալացումն է:

Մեր մոդելում, որպես դիտարկվող պայուսակի եկամտաբերության պրոցեսի պայմանական բաշխում, հարմար է նայել $F(\cdot)$ բաշխումը՝ կախված (μ_t^i, h_t^i, v_t^i) պարամետրերից, որոնք բնութագրում են մեր երեք վիճակներում գտնվելու փաստը $P(S_t = i | \mathfrak{F}_{t-1})$ հավանականություններով: \mathfrak{F}_{t-1} -ը իրենից ներկայացնում է $t-1$ պահին հասանելի ինֆորմացիան: μ_t^i -ը պորտֆելի եկամտաբերության պայմանական

մաթեմատիկական սպասումն է, h_t^i -ն պայմանական վարիացիան է, իսկ v_t^i -ն՝ բաժնետոմսի եկամտաբերության պրոցեսի պայմանական բաշխման տեսքի պարամետր է, երբ գտնվում ենք տվյալ i -րդ վիճակում:

Այսինքն, երբ ժամանակի t պահին տվյալ բաժնետոմսերում զբաղեցնում ենք որոշակի դիրք՝ գտնվում ենք i ռեժիմում, ապա այդ բաժնետոմսերի եկամտաբերության պրոցեսը բնութագրվում է այդ ռեժիմին համապատասխան (μ_t^i, h_t^i, v_t^i) պարամետրերով բաշխման ֆունկցիայի միջոցով՝ այդ ռեժիմին համապատասխան $P(s_t = i | \mathcal{F}_{t-1})$ հավանականությամբ: h_t^i պայմանական վարիացիայի համաձայն սահմանենք հետևյալ GARCH-ը՝

$$\left[h_t^{(i)} \right]^2 = a_0^{(i)} + a_1^{(i)} r_{t-1}^2 + \beta_1^{(i)} \mathbb{E}[(h_{t-1})^2 | s_t = i],$$

որտեղ $(h_{t-1})^2$ ներկա ռեժիմից անկախ՝ նախորդ ժամանակահատվածների պայմանական վարիացիաների միջինն է և $i = 1, 2, 3$ (տես [5]):

Երկրորդ գլխում դիտարկվել են ֆյուչերսների գների նմուշի մաքսիմումի, մինիմումի և լայնույթի բաշխման ֆունկցիաները:

Նմուշի լայնույթը կսահմանենք այդ նմուշի մաքսիմումի և մինիմումի տարբերությունը (տես [6]): Մեկ այլ սահմանում՝ նմուշի լայնույթը այն ամենափոքր ինտերվալն է, որը պարունակում է նմուշի բոլոր արժեքները (տես [7]):

Ֆյուչերսների շուկաներում բոլոր մասնակիցները ունեն առավելագույն, նվազագույն, բացման և փակման գների մասին ինֆորմացիա:

Առաջին ենթազլխում վերցված են այդ գները, և ցուցադրված է, թե ինչ բաշխում ունեն մաքսիմումները և մինիմումները:

Երկրորդ ենթազլխում ցուցադրված է, թե ինչ բաշխում ունի այդ գների լայնույթը:

Վերջենք գազի ֆյուչերսների մաքսիմում և մինիմում արժեքները 10 տարվա հորիզոնով և «Առ» (R) ծրագրավորման համակարգով մոտարկենք բաշխումների ընտանիք: Հետո տեսնենք, թե որ բաշխման ֆունկցիան ամենամոտը կլինի մեր տվյալներին՝ մոտարկելով հայտնի Կոլմոգորով-Սմիրնովի մեթոդով:

-	Beta	Gamma	Weibull	Lognormal	Loglogistics	Exp
Kolmogorov-Smirnov	0.1798181	0.1558913	0.1693798	0.1487336	0.1190105	0.4951641
Cramer-von Mises	23.1175159	19.0298032	21.5541780	17.2426294	14.0474620	144.0261041
Anderson_Darling	127.5552646	106.2417870	121.5746142	96.8110308	91.0866123	683.5985406

Աղյուսակ 1. մոտարկման 3 ամենահայտնի մեթոդների արդյունքները մաքսիմումի համար:

Աղյուսակ 1-ում օգտագործել ենք հետևյալ 3 մեթոդները.

Կոլմոգորով-Սմիրնովի մեթոդ՝ $\sup_{x \in R} |F_n(x) - F(x)|$:

Կրամեր ֆոն Միսեսի մեթոդ՝ $\int (F_n(x) - F(x))^2 dF(x)$:

Անդերսոն-Դարլինգի մեթոդ՝ $\int \frac{(F_n(x) - F(x))^2}{F(x)(1 - F(x))} dF(x)$:

Որտեղ $F_n(x)$ -ը էմպիրիկ բաշխման ֆունկցիան է: Դիցուք (X_1, X_2, \dots, X_n) -ը n անկախ և միատեսակ բաշխված պատահական մեծությունների նմուշն է և ունի $F(x)$ բաշխման ֆունկցիա: Այսպիսով էմպիրիկ բաշխման ֆունկցիան կլինի (տես [8])՝

$$F_n(x) = \frac{\text{նմուշի տարրերի քանակը} \leq x}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{1}_{\{x_i \leq x\}} :$$

Քանի որ վերը նշված բոլոր մեթոդները հիմնված են տեսական և էմպիրիկ բաշխումների տարբերության վրա, Աղյուսակ 1-ում ավելի փոքր արժեքները վկայում են ավելի լավ արդյունքի մասին: Ամենափոքր թիվը բոլոր 3 մեթոդներով լոգ-լոգիստիկ բաշխման դեպքում է: Այն չկար Քուլենի և Ֆրեյի գրաֆում, սակայն Աղյուսակ 1-ը ցույց է տալիս, որ լոգ-լոգիստիկ բաշխումը ավելի է համապատասխանում մեր նմուշին, քան բետա բաշխումը, որը ցույց էր տվել Քուլենի և Ֆրեյի գրաֆը:

-	Beta	Gamma	Weibull	Lognormal	Loglogistics	Exp
Kolmogorov-Smirnov	0.1765114	0.1644889	0.1673121	0.1582347	0.1287868	0.4927992
Cramer-von Mises	23.0733049	19.1864928	21.7812334	17.4005739	14.1937448	144.3591075
Anderson_Darling	127.7583822	107.4684683	123.0546500	97.5811306	91.7193518	684.8924226

Աղյուսակ 2. մոտարկման 3 ամենահայտնի մեթոդների արդյունքները մինիմումի համար:

Աղյուսակ 2-ը ևս ցույց է տալիս լոգ-լոգիստիկ բաշխումը, այսինքն մինիմումների համար ևս ամենալավ մոտարկումը դա է:

Այսպիսով, կենթադրենք, որ նմուշի մաքսիմումները և մինիմումները ունեն լոգ-լոգիստիկ բաշխման ֆունկցիա:

Քանի որ մաքսիմումի և մինիմումի բաշխման ֆունկցիաները տարբեր են, սակայն ունեն նույն լոգ-լոգիստիկ բաշխման ֆունկցիան, հետևաբար դրանք ունեն տարբեր մասշտաբային և ուրվագծային պարամետրեր: Ստուգենք դա «Առ» ծրագրավորման համակարգով՝ ճշմարտանմանության մաքսիմումի (*maximum likelihood estimation method*) մեթոդով: Արդյունքները տրված են ստորև՝ Աղյուսակ 3 և 4-ում:

-	estimate	Std. Error
shape	6.7978763	0.109397359
scale	0.4673385	0.002423145

Աղյուսակ 3. լոգ-լոգիստիկ բաշխման պարամետրերը մաքսիմումի համար:

-	estimate	Std. Error
shape	6.8233459	0.109891183
scale	0.4558791	0.002354103

Աղյուսակ 4. լոգ-լոգիստիկ բաշխման պարամետրերը մինիմումի համար:

Չնակերպենք թեորեմ ֆյուչերաների շուկաներում գների մաքսիմումների և մինիմումների բաշխման ֆունկցիաների վերաբերյալ:

Թեորեմ: Եթե (X_1, X_2, \dots, X_n) -ը n անկախ և միատեսակ բաշխված պատահական մեծություններից կազմված նմուշ է և $U = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$, $V = \min(X_1, X_2, \dots, X_n)$, ապա ամենալավ ենթադրությունը U -ի և V -ի համար լոգ-լոգիստիկ բաշխման ֆունկցիան է՝ α մասշտաբային և β ուրվագծային պարամետրերով, և որ U -ի և V -ի համար այդ պարամետրերը հետևյալն են՝ $\alpha_U = 0.47$, $\alpha_V = 0.46$, $\beta_U = 6.8$, $\beta_V = 6.82$:

Տեսնենք, թե ինչ բաշխում ունի նմուշի լայնույթը: Արդյունքները պատկերված են ստորև՝ Աղյուսակ 5-ում: Այս դեպքում ամենալավ մոտարկումը լոգնորմալ բաշխումն է՝ բոլոր 3 մեթոդներով, իսկ լոգ-լոգիստիկը երկրորդն է և շատ մոտ է լոգնորմալին:

-	Beta	Gamma	Weibull	Lognormal	Loglogistics	Exp
Kolmogorov-Smirnov	0.48837020	0.04807411	0.06677015	0.01569214	0.02946668	0.2342263
Cramer-von Mises	2.05374717	1.96358401	4.19960715	0.12950634	0.55041628	40.5841613
Anderson-Darling	12.19328307	11.69045892	27.87877365	0.93553270	3.87484185	224.0618437

Աղյուսակ 5. մոտարկման 3 ամենահայտնի մեթոդների արդյունքները լայնույթի համար:

Ստորև ներկայացված Աղյուսակ 6-ում՝ ներկայացված են լոգնորմալ բաշխման պարամետրերը նմուշի լայնույթի համար, դրանք են՝ $\mu = -4.5$, $\sigma = 0.59$.

-	estimate	Std. Error
meanlog	-4.5883944	0.011707233
sdlog	0.5936156	0.008278158

Աղյուսակ 6. լոգնորմալ բաշխման պարամետրերը նմուշի լայնույթի համար:

Այսպիսով, կարող ենք ձևակերպել թեորեմ՝ նմուշի լայնության բաշխման ֆունկցիայի վերաբերյալ:

Թեորեմ: Եթե (X_1, X_2, \dots, X_n) -ը n անկախ և միատեսակ բաշխված պատահական մեծություններից կազմված նմուշ է և $U = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$, $V = \min(X_1, X_2, \dots, X_n)$ և $R = U - V$ նմուշի լայնություն է, ապա ամենալավ ենթադրությունը R -ի բաշխման ֆունկցիայի մասին՝ լոգնորմալ բաշխումն է $\mu = -4.5$, $\sigma = 0.59$ պարամետրերով:

Դիտարկվել է մի այսպիսի հակադարձ խնդիր՝ տեսնել, թե ինչ բաշխում կունենա նմուշն, այն դեպքում, երբ ունենք նմուշի մաքսիմումների և մինիմումների բաշխման ֆունկցիաները և պարամետրերը: Այս մոտեցումը նոր է, բոլոր գրականություններում դիտարկվում է խնդիր՝ ունենալով նմուշի բաշխման ֆունկցիան, գտնել դրա մաքսիմումների և մինիմումների բաշխումը, սակայն մեր առաջարկած մոտեցումը հնարավորություն է տալիս կրճատել դիտարկվող նմուշի ծավալները՝ դիտարկումները կատարելով միայն դրանց մաքսիմումներով և մինիմումներով:

Մաքսիմումի դեպքում նմուշի բաշխման ֆունկցիան ունի հետևյալ տեսքը.

$$F(x) = {}^n\sqrt{G_U(x; \alpha, \beta)} = {}^n\sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\beta}}},$$

որտեղ $x > 0$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$:

Այս պարագայում եկեք դիտարկենք լոգ-լոգիստիկ բաշխմանն ամենամոտ բաշխումը՝ Դագումի բաշխումը: Այն անվանվել է Կամիլո Դագումի անունով, ունի 3 պարամետր, և երբ որ այդ պարամետրերից մեկը հավասար է 1, այս դեպքում ստացվում է լրիվ նույն լոգ-լոգիստիկ բաշխումը:

Դագումի բաշխման ֆունկցիան ունի հետևյալ տեսքը՝

$$F(x; \alpha, \beta, p) = \begin{cases} 0, & \text{եթե } x \leq 0 \\ \left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\beta}\right)^{-p}, & \text{եթե } x > 0 \end{cases},$$

որտեղ $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $p > 0$:

Հետևաբար, n -րդ աստիճանի արմատը բաշխման ֆունկցիայից, նույն բաշխումն է, սակայն այլ պարամետրով.

$${}^n\sqrt{F(x; \alpha, \beta, p)} = \left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\beta}\right)^{\frac{-p}{n}} = F(x; \alpha, \beta, p/n):$$

Այսպիսով՝ կարող ենք պնդել, որ նմուշի մաքսիմումի ֆունկցիան ունի Դագումի բաշխում $\alpha = 0.47, \beta = 6.8, p = 1/n$ պարամետրերով, համապատասխանաբար նմուշը ևս կունենա Դագումի բաշխում, սակայն $\alpha = 0.47, \beta = 6.8, p = 1$ պարամետրերով:

$$F(x) = \sqrt[n]{G_U(x; \alpha, \beta, p)} = G_U(x; \alpha, \beta, p/n) = \left(1 + \left(\frac{x}{0.47}\right)^{-6.8}\right)^{\frac{1}{n}}$$

$$= \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{0.47}\right)^{-6.8}\right)^{\frac{1}{n}}}: \quad (2)$$

Ստանանք նմուշի բաշխումը՝ ունենալով մինիմումի բաշխման ֆունկցիան և պարամետրերը: Նմուշի բաշխման ֆունկցիան այս դեպքում կունենա հետևյալ տեսքը.

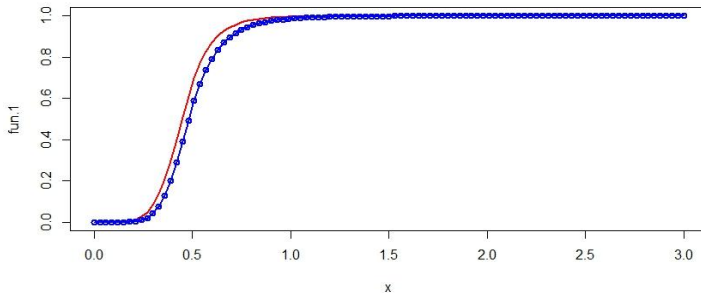
$$F(x) = 1 - \sqrt[n]{1 - G_V(x; \alpha, \beta)} = 1 - \sqrt[n]{1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\beta}}}: \quad (3)$$

Ունենալով, որ $\alpha = 0.46, \beta = 6.82$, բաշխման ֆունկցիան կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$F(x) = 1 - \left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{0.46}\right)^{-6.82}}\right)^{\frac{1}{n}}: \quad (3)$$

Հասկանալու համար, թե որքան լավն է մեր ստացված արդյունքը՝ պետք է համեմատել (2) և (3) և տեսնել արդյո՞ք մոտ են դրանք, թե ոչ:

Գծապատկեր 1-ը ցույց է տալիս, որ տարբերությունը չնչին է:



Գծապատկեր 1. Երկու մեթոդներով ստացված նմուշի բաշխման ֆունկցիաների գրաֆիկների տարբերությունը:

Երրորդ գլուխը նվիրված է ԱՄՆ խոշորագույն երկու շուկաների էլեկտրաէներգիաների ձեռք բերման մեխանիզմներին:

ՓՋՄ-ը (Փենսիլվանիա - Նյու Ջերսի - Մերիլենդ) և ՄՓՓ-ն (Հարավ-արևմտյան էներգաբլոկ) Ամերիկայի Միացյալ Նահանգներում տարածաշրջանային փոխանցման կազմակերպություններ են: Այս գլխում կհետազոտենք այդ խոշոր շուկաները:

ՓՋՄ-ի գլխամասը գտնվում է Փենսիլվանիայում, այն աշխարհի ամենամեծ էլեկտրաէներգիայի շուկաներից է (տես [9]):

2004 թվականից ՄՓՓ-ն ստացել է լիցենզիա և դարձել է շատ մեծ և հզոր էլեկտրաէներգիայի շուկա: ՄՓՓ-ն մատակարարում է էլեկտրաէներգիա 14 նահանգներում, դրանք են՝ Արկանզասը, Լուվան, Կանզասը, Լուիզիանան, Մինեսոտան, Միսուրին, Մոնտանան, Նեբրասկան, Նոր Մեքսիկոն, Հյուսիսային Դակոտան, Օկլահոման: Հարավային Դակոտան, Տեխասը և Յուդինգը (տես [10]):

Վիրտուալ գործարքները ՓՋՄ և ՄՓՓ շուկաներում հանդիսանում են աճուրդային գործարքներ: Գոյություն ունեն «ընթացիկ» և «օր-առաջ» շուկաներ, որոնց աճուրդին հնարավոր է մասնակցել և շահելու դեպքում՝ գնել էլեկտրաէներգիա՝ հաղթած արժեքով: Վիրտուալ գործարքները երկկողմանի շուկայի արժեքավոր բաղադրիչներն են: Նրանք ունակ են մեղմացնել ինչպես մատակարարի, այնպես էլ պահանջարկի շուկայական հզորությունը՝ շուկայական մասնակիցներին թույլ տալով, առանց ֆիզիկական ակտիվների, մրցակցել ակտիվների սեփականատերերի շուկայում (տես [11]):

Շուկայի բոլոր մասնակիցներն ունեն «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գները՝ ժամային հաճախականությամբ: Այս գլխում վերցնում ենք «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գների մի մեծ նմուշ և փորձում տեսնել, թե ինչ բաշխում ունեն «ընթացիկ» գների եկամտաբերությունները: Այնուհետև կատարում ենք ռեգրեսիա «օր-առաջ» և «ընթացիկ» գների միջև՝ տեսնելու, թե ինչպես են դրանք կապված միմյանց հետ:

Որից հետո վերցնում ենք «ընթացիկ» գների մի մասը և օգտագործելով մեր ռեգրեսիոն գործակիցները՝ կանխատեսում ենք «ընթացիկ» գների մյուս մասը և համեմատում տրված գների հետ՝ տեսնելու, արդյոք մոտ ենք կանխատեսել գները և կարող ենք մասնակցել աճուրդին՝ ճիշտ գին առաջարկելով:

Որպեսզի հետազոտենք «ընթացիկ» շուկան, վերցրել ենք ՄՓՓ շուկայում տրված «ընթացիկ» գները՝ ժամանակային հաճախականությամբ, ստեղծել ենք այդ գների միջիններից ինդեքս: Ընդհանուր առմամբ վերցրել ենք 34983 գին, որոնք այդ շուկայի ամենախոշոր էլեկտրաէներգիա վաճառող կետերն են, դրանք են՝ “COFFEYVILLE”, “BUFFALO DUNES WIND”, “CANADIAN HILLS”, “CANEY RIVER WINDPOWER” և “BLUE CANYON” կազմակերպությունները:

Ինդեքսի գներից հանենք էքստրեմալ արժեքները, որոնք շատ քիչ են, սակայն կարող են շեղել մեզ շուկայի իրական պատկերից, քանի որ վերցրել ենք 4 տարվա տվյալներ և այդ տարիների ընթացքում հնարավոր է լինեն ինչ-որ պահին էքստրեմալ արժեքներ, որոնք չունեն կրկնվող բնույթ և մոդելում կարելի է դրանց հաշվի չառնել: Հեռացվել է մոտ 1000 արժեք:

Հիմա վերցնենք այդ ինդեքսի գների եկամտաբերությունները և մոտարկենք լայն բաշխումների ընտանիք՝ Պիրսոնի բաշխումը և «Առ» ծրագրավորման փաթեթով տեսնենք, արդյոք մեր տվյալները պատկանում են այդ ընտանիքին թե ոչ (տես [12]):

\$type
[1] 6
\$a
[1] 1.427691
\$b
[1] 8.054372
\$location
[1] 1.276112
\$scale
[1] -1.599713

Աղյուսակ 7. Պիրսոնի բաշխման մոտարկման արդյունքները:

Աղյուսակ 7-ից երևում է, որ մեր տվյալները պատկանում են Պիրսոնի բաշխման 6-րդ դասին հետևյալ պարամետրերով՝ $\alpha_1 = 1.43, \alpha_2 = 8.05, \gamma = 1.28, \beta = -1.60$:

Այսպիսով՝ կարող ենք ձևակերպել թեորեմ ՄՓՓ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերությունների վերաբերյալ:

Թեորեմ: ՄՓՓ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերություններն ունեն Պիրսոնի 6-րդ դասի բաշխում $\alpha_1 = 1.43, \alpha_2 = 8.05, \gamma = 1.28, \beta = -1.60$ պարամետրերով:

Կատարենք վերը նշված գործողությունները ՓԶՄ շուկաների դեպքում: Այստեղ վերցրել ենք 45000 տվյալ, նույն նախորդի տրամաբանությամբ ձևավորել ենք ինդեքս և «Առ» ծրագրավորման համակարգով մոտարկենք Պիրսոնի բաշխումը:

\$type
[1] 4
\$m
[1] 2.808495
\$nu
[1] 0.6873922
\$location
[1] 1.05739
\$scale
[1] 0.3300014

Աղյուսակ 8. Պիրսոնի բաշխման մոտարկման արդյունքները:

Աղյուսակ 8-ից երևում է, որ մեր տվյալները պատկանում են Պիրսոնի բաշխման 4-րդ դասին հետևյալ պարամետրերով՝ $m = 4, \nu = 2.81, a = 1.06, \lambda = 0.33$ (տես [13]): Ձևակերպենք հաջորդ թեորեմը ՓՁՄ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերությունների վերաբերյալ:

Թեորեմ: ՓՁՄ շուկաներում էլեկտրաէներգիայի «ընթացիկ» գների եկամտաբերություններն ունեն Պիրսոնի 4-րդ դասի բաշխում $m = 4, \nu = 2.81, a = 1.06, \lambda = 0.33$ պարամետրերով:

Չորրորդ գլխում նկարագրվում է գործարքների ամբողջական պահանջների մոդելը էլեկտրաէներգիաների շուկաներում:

Ամբողջական պահանջի գործարքի պայմաններում էներգիայի վաճառողը ներառում է պայմանագրային պարտադիր պարտավորություն՝ հաճախորդի պահանջները բավարարելու համար (սովորաբար կապված էներգիայի սպառման հետ), նախապես սահմանված սահմաններում: Վերին կամ ստորին սահմանները կարող են հեռացվել կամ կարող են այնքան լայն լինել, որ էլեկտրաէներգիա վաճառողը կարող է պարտավորվել ներգրավել ամբողջ սպառողական ռիսկը՝ կապված հաճախորդի էներգիայի օգտագործման տատանումների հետ:

Ամբողջական պահանջների գործարքները կարող են ներառել հաճախորդի էներգետիկ ակտիվների պորտֆելի կառավարումը (ֆիզիկական ակտիվության ակտիվներ, վառելիքի պահեստներ, վառելիքի ձեռքբերում և փոխադրման պայմանագրեր և այլն): Պայմանագրային պարտավորությունները նախատեսում են ֆիքսված (անընդհատ կամ փոփոխական) պայմանագրային գներ, հանրային հասանելի ապրանքային ինդեքսների հիման վրա լողացող գներ, բանաձևի վրա հիմնված գներ, որոնք վերաբերում են այլ փոփոխականներին, ինչպիսիք են

էներգիայի գները, օգտագործման ծավալները, շրջակա միջավայրի փոփոխականները, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը կամ համադրությունը բոլոր վերոհիշյալ մոտեցումներից:

Գրականություն

- [1] Andreassen J.; “Back to the future”; RISK; September; pp. 104-109; 2005.
- [2] Ohanyan V., Kechejian H.; “Tolling contracts”; Reliability and Optimization of Structural Systems; pp. 231-236; 2012.
- [3] Andersen L.; “Markov Models for Commodity Futures: Theory and Practice”. Journal of Finance; pp. 1–45; 2008.
- [4] Klaassen F.; “Improving GARCH Volatility Forecasts with Regime – Switching GARCH”; pp. 3-6; 2002.
- [5] Marcucci J.; “Forecasting Stock Market Volatility with Regime – Switching GARCH Models”; Department of Economics; University of California; San Diego, USA; pp. 5-9; 2005.
- [6] George W.; “An Introduction to Statistics”; Cengage Learning; p. 74; 2001.
- [7] Carin V.; “Elementary Statistics: Vol 2”; Pearson South Africa; pp. 7–27; 2000.
- [8] Van der Vaart A.W.; “Asymptotic statistics”; Cambridge University Press; p. 265; 1998.
- [9] PJM 2016 Annual report; Revolutionary thinking; pp.11-13; 2016.
- [10] Federal Energy Regulatory Commission, Electric Power Markets: Southwest Power Pool (SPP): <https://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-lectric/spp.asp>
- [11] Virtual Transactions in the PJM Energy Markets; PJM Interconnection; pp.1-5; 2015.
- [12] Mathwave; Fit distribution; Pearson Type 6 distribution: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/pearson6.html>
- [13] Heinrich J.; “A Guide to the Pearson Type IV Distribution”; University of Pennsylvania; December 21; pp. 1-2; 2004.

Ատենախոսության հիմնական դրույթներն արտացոլվել են հեղինակի գիտական հրատարակումներում.

- I. Փիլիպոսյան Տ. Վ.; "Օպտիմալ կառավարման խնդրի կիրառությունը ֆյուչերսների շուկաներում"; Ֆինանսներ և էկոնոմիկա, 11-12(207-208), ՀՏԴ 336,76; էջ 98-101, 2017.
- II. Piliposyan T. V.; "The Distribution of the Maximum, Minimum and Range of a Sample"; Journal of Contemporary Mathematical Analysis (American Academy of Sciences); Volume 53, Issue 3, pp. 179-185, 2018.
- III. Piliposyan T. V.; "SPP Real-Time and Day-Ahead Energy Markets"; Proceedings of Yerevan State University, Mathematics, 52 (1), pp. 64-67, 2018.
- IV. Piliposyan T. V.; "Real-Time and Day-Ahead Energy Markets"; Fineco, 1-2(209-210), UDC 330:621.31; pp. 115-121, 2018.

Закключение

Основные результаты диссертации связаны с процессом возврата товарных фьючерсов, ценами «день-вперед» и «текущие» в рынках электроэнергетики, функциями распределения максимального, минимального и диапазона цен на фьючерсные цены и ценообразования, маркировки и управления рисками от полной требований фьючерсных контрактов.

Получены следующие результаты.

- Модели, описанные в первой главе, дают более точные результаты по процессу возврата фьючерсов, поскольку они более гибкие, чем любой другой тип GARCH, а кривая фьючерсов вычисляется с использованием моделей Маркова.

- Было показано, что максимальные и минимальные цены на фьючерсы на газ имеют лог-логическую функцию распределения с параметрами, указанными во второй главе.
- Было показано, что диапазон цен на газовые фьючерсы имеет логнормальную функцию распределения с параметрами, которые указаны во второй главе.
- Возврат «текущих» цен на энергетических рынках SPP имеет распределение Пирсона типа VI с параметрами, которые приведены в третьем главе.
- Возврат «текущих» цен на энергетических рынках PJM имеет распределение Пирсона типа IV с параметрами, которые приведены в третьем главе.
- Сделав регрессию между «текущими» и «день-вперед» ценами на рынках электроэнергии PJM и SPP, было обнаружено, что существует корреляция между ними, и с ценами «день-вперед» мы можем прогнозировать «текущие» цены и используя эти прогнозы, мы можем предложить хорошую цену на аукционах и выиграть энергию с низкой ценой.

Resume

The main results of the dissertation are related to the commodity futures returns process, the Day-Ahead and Real-Time prices of electricity markets, the distribution functions of the maximum, minimum and range of the futures prices data and pricing, marking and risk managing of the full requirement futures contracts.

The following results are obtained.

- The models described in the first head give more accurate results on the futures returns process, because they are more flexible than any other type of GARCH, and the futures curve is calculated using Markov models.

- It has been shown that the maximums and minimums of the gas futures prices have log-logistic distribution function, with parameters that are given in the second head.
- It has been shown that the range of the gas futures prices has lognormal distribution function, with parameters that are given in the second head.
- The returns of Real-Time prices of SPP energy markets have Pearson Type VI distribution with parameters that are given in the third head.
- The returns of Real-Time prices of PJM energy markets have Pearson Type IV distribution with parameters that are given in the third head.
- Making regression between Day-Ahead and Real-Time prices of the PJM and SPP electricity markets, it has been found that there is a correlation between them, and having Day-Ahead prices we can forecast Real-Time prices, and using that forecasts we can bid good price in auctions and win the energy with low price.