***Н.И. Воропай, Н. К. Апиев***

# Татаал электроэнергетикалык системаларды өнүктүрүүнүн ыңгайлуу жолун изилдөө

## Киришүү

Азыркы учурда техниканын өнүгүү деңгээлинде элдик чарбаны өнүктүрүү тармактарында электр энергиясын колдонуу, өндүрүштүк күчтү өнүктүрүүнүн негизги көрсөткүчү болуп саналат. Өнөр жайды, айыл-чарбаны, жашоо тиричиликти электр энергиясысыз элестетүүгө болбойт.

Электр энергиясынын башка энергиялардан өзгөчөлүгү анын ар-түрдүү сапаттары жана касиеттери, аны ар-түрдүү энергияга айландырып колдонсо болот, технологиялык процессте оңой башкаруу, региондун бардык точкаларына жеткирүүдө ж.б.у.с. эмгек өндүрүмдүүлүгүн жогорулатууда жана калктын жакшы жашоосунун өсүшүндө электр энергиясы механизациянын негизи жана өндүрүү процессти автоматташтыруу болуп саналат.

Кыргызстандын экономикасын өнүктүрүү үчүн алгач электр энергиясын өнүктүрүү зарыл. Мында Кыргызстандын электро энергетикалык системасынын ГЭСти чоң энчиси менен аныктоочу спецификалык структурасы бар жана ЭЭСтин өнүгүүсүнүн негиздөөчү усулдарды талап кылат. Берилген статьяда көрсөтүлгөн спецификаны эске алуу менен ЭЭСтин өнүгүүсүнүн методикасы көрсөтүлгөн жана анын негизинде Кыргызстандын ЭЭСнин өнүгүшүнүн рационалдык варианты аныкталат.

## Коюлган маселе

Татаал математикалык моделдердин комплексин колдонууда системаны өнүктүрүүдө жана анын жакшы иштөөсүн текшерүүдө татаал ЭЭСтин өнүгүшүн негиздөө көп эмгектүү процесс. [1, 2]. Спецификалык түзүлүш ЭЭС үчүн өтө керек. Мисалы, энергетикалык эмес чектөө спецификалык режимин ГЭСтин чоң энчиси менен камсыз кылат. Кыргызстандын электр энергетикалык системасы берилген системанын тиби болуп саналат, алар 16 ГЭС жана 2 жылуулук электр станциясын камтыйт. Бул жерде иштөө принциби дарыялардагы суунун көптүгүнө көз каранды.

Азыркы учурдагы электрэнергетикалык система (ЭЭС) татаал жана туюк (жабык) бир өңчөй эмес, электр тармактык түзүлүштөрү катары болуп саналат. Түзүлүштүн бир өңчөйсүздүгү татаал ЭЭСдин фундаменталдык касиети [1,2]. Колдонулган чаралар системанын мүнөзүн жана ошого ылайык талабынын өнүгүшүн сандык мүнөзүн баалоо, моделдештирүүдө ушул мүнөздөмөлөрдү эске алуу, келечекке пландаштырууда жана анализде ушундай системаларды өнүктүрүүдө структуралык бир өңчөйсүз татаал ЭЭСди аныктап тактоосу зарыл .

Учурдагы ЭЭСдин структурасынын татаалдыгы алардын көп ченемдүүлүгү, элементтеринин көптүгү, режимдердин кырсык (возмууения) абалда болушу, бир жыл ичинде аларды бириктирүүнү (декомпозиция) талап кылат, ошону менен катар ЭЭСтин өнүгүүсүн аныктоочу, кээ бир иерархиялык удаалаш чакан маселелерди чыгарууга математикалык моделдерди колдонууну сунуш кылат. Биринчи абалда (стадия) мындай *Бир өңчөйсүз татаал ЭЭС – сложно-замкнутую неординарную ЭЭС удаалаштык ЭЭСтин иштөө түзүлүшү жана сунушталган тизмектери жетишээрлик көрсөтүлгөн да, кийинки стадияда алар терең такталат [3]. Чынында биринчи абалда ЭЭСтин системалар аралык байланышы жана өндүрүлүүчү кубатуулуктун тизмектеп оптимизациялоо тапшырмасынын жарым бөлүмү чечилсе, ал эми экинчи абалда (стадия) ЭЭСтин нормалдуу жана бузулуудан (авария) кийинки абалдын келечектүү системасы анын туруктуулугу, ишенимдүүлүгү жана башка маселелери каралат. ЭЭСтин нормалдуу иштөөсүндө кемчилдиктер келип чыкса анын элементтеринин түзүлүштөрүнө жана системанын тизмектерине зарыл болгон түзүлүштөрдү киргизүүгө туура келет. Буларга чейинки эң маанилүү маселе болуп, эки абалда (стадия) тең колдонулган математикалык үлгүлөрдүн өз ара макулдашуусун камсыз кылуу болуп саналат.

Эки абалдагы (стадия) тең киргизилген маселелердин астындагы анын ичинде жана жалпы маселелерди чечүүдө аныкталган өзгөчөлүктөрдү киргизүүдө ЭЭСте ГЭСтин чоң энчиси бар. Мына ушул беренеде (статья) Кыргызстан ЭЭСнин өнүгүүсүнүн ыңгайлуу

өзгөчөлүгүн аныктоо негизги мисал болуп саналат да, эки абалдагы (стадия) сунушту ишке ашырууда үлгү катары төмөндө көрсөтүлөт.

Баяндалган методдун негизинде Кыргызстандын ЭЭСнин өнүктүрүүдөгү ыңгайлуу жолун аныктоодо, берилген анча-мынча маалыматтардын бул эмгекте кыскартылып берилгенин белгилеп кетүү зарыл, ал эми статьяда берилген көрсөткүчтөрдүн жыйынтыгын үлгү катары көрсөтүү болуп саналат.

Азыркы учурдагы иштеп жаткан Кыргызстандын электростанцияларынын негизги параметрлери

**1-таблица.**

| № | Электростанциялардын аталышы | Колдонулуучу кубаттуулук, МВт | Орто-статистикалык өндүрүлгөн электроэнергиясы млрд. кВт саат | Системалар |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Токтогул ГЭСи | 1200 | 4,1 | I |
| 2 | Курпсай ГЭСи | 800 | 2,6 | I |
| 3 | Ташкөмүр ГЭСи | 450 | 1,5 | I |
| 4 | Шамалдысай ГЭСи | 240 | 0,91 | I |
| 5 | Бишкек ТЭЦи | 678 | 3,97 | II |
| 6 | Атбашы ГЭСи | 40 | 0,12 | II |

*Эскертүү:* I – электростанциялардын, Кыргызстандагы түштүк бөлүгүндө жайгашуусу, II – албетте, Түндүк бөлүгүндө жайгашкан Кыргызстандын электростанциялары.

Азыркы учурдагы иштеп жаткан Кыргызстандын электростанцияларынын негизги параметрлери (1-таблицада), ал эми алардын көрсөткүчтөрү 1- сүрөттө ЭЭС Кыргызстандын 220 жана 500 кВ чыңалуудагы схемасы көрсөтүлгөн.

Баштапкы маалымат катары ЭЭСтин жайгаштырылган эсептик электр схемасы жана анын параметрлери, каршылык жана байланыш өткөрүмдүүлүгү, кубаттуулук чоңдугу жана түйүндүн генерациясы ж.б. эсептелинет. Бул маалыматтар бир жылдын ичиндеги системанын мүнөздүү шартта иштөөсүнүн кышкы жогорку чектеги (максимум) нагрузканы (жүктү) ГЭС менен дарыяга суунун агымдары кирүү мезгилинде эсепке алып каралат. Жылдын суткалык жогорку чектеги өлчөмүнүн графиги (мисалы: кышкы – иш жана дем алыш күндөрү, жайкы – иш жана дем алыш күндөрү ж.б.) колдонулат. Андан сырткары оптимизация үчүн зарыл болгон өндүрүлүүчү кубаттуулуктун структуралары электростанциялардагы агрегаттардын составы жана алардын мүнөздөмөсү берилет.

Маселени чечүүдө баштапкы этап катары структураны аныктоо жана ЭЭСтин үлгүлөрүнүн агрегаттоо параметрлери система алдындагы күчтүү байланышкан түрдө сунушталган, анын ичинде каралган режимдер үчүн электр түйүнү агымдарга бөлүнүүнү чектебейт. Анткени, эки системанын астында чектелип коюлган өткөрүү жөндөмдүүлүк өз-ара начар байланышта бириккен. ЭЭСти агрегатто үлгүсүн аныктоо үчүн төмөнкүдөй операция түрүндөгү структуралык анализ колдонулат [1, 2].

*а*) генератордун структуралык байланыштарынын көрсөткүчтөрүнө колдонуу менен $w_{ij}=E_iE_j\ y_{ij}$, мында $E_i, E_j$ – $i$ жана $j$ түрүндөгү генераторлордун электр кыймылдаткыч күчү (ЭКК), $y_{ij}$ – алар аралык эквиваленттүү өткөрүмдүлүүк, түзүлүүчү матрица $[w_{ij}]$, ал эми $i, j=\overline{1,n}$, $n$ – схемадагы генераторлордун саны.

*б*) матрицаны $[w_{ij}]$ кластеризациялоого туура келет да, жыйынтыгында системанын астында күчтүү байланышкан түрдө системанын структурасы түзүлсө, алардын бири-бири менен өз-ара начар байланышта экендиги келип чыгат;

*в*) төмөнкү түшүндүрмөнү колдонуу менен өткөрүүчүлүк жөндөмдүүлүктүн системалар аралык байланышы аныкталат.

$w_{IJ}=\sum_{i\in I}\ \sum_{j\in J} w_{ij}$, мында $I$ жана $J$ – системалардын номери.

**Сүрөт. 1. Схемада ЭЭС Кыргызстандын 220 жана 500 кВ чыңалуудагы схемасы.**

Каралган операциялар жыл башындагы ЭЭСтин өнүгүү негизинде аныктоо ЭЭСтин бардык мүнөздөгү иштөө режимдери үчүн аткарылат (мисалы 2005-жылга). Мындан сырткары агрегаттоо үлгүнүн системалык структурасына бир кыйла татаал режимдер кабыл алынып колдонулат (мисалы: кышкы жогорку чектеги нагурка үчүн), ал эми системалар аралык өткөрө алуучулук байланыш ар-бир режим үчүн алынган $w_{IJ}$ мааниге ылайык келет.

Баяндалган «*а*», «*б*», «*в*» операциялары MATLAB® [4] аралык комплекстүү программа түрүндө ишке ашырылат. Бул операциялар белгиленген режимдердин эсептеринен алынган маалыматтарга негизделген (СДО-6 [5] программалык комплекси колдонулат). Бул базадагы маалыматтар көрсөткөндөй түйүндөгү комплекстүү жүктөмдөр комплекстүү жерге өткөрүмдүүлүккө айланат, схемада генератордун ЭККү эсептелинет жана айландырылан (генерируюүих) түйүндөргө ылайык келген генераторлордун каршылыгы толукталат, бардык каршылык системасы өткөрүмдүүлүктү кайра эсептейт. Мындан нары матричный процедураны колдонуу менен начар байланышкан бардык тармактардагы түйүндөр алынып салынат жана толук көп полюстуу эквиваленттик өздүк жана өз ара өткөрүмдүүлүк генераторлордун ЭКК колдонуу түйүндөрүнө салыштырмалуу алынат.

Берилген класстык сандардан турган ([1]) [$w_{ij}$] матрицасын кластеризациялаш үчүн алгоритмдин төмөндөгү классификациясы колдонулат бөлүштүрүүдөн тартып бир элементтүү класстты камтып, коюлган бөлүштүрүүнү тургузууну аякташ үчүн бөлүштүрүү менен бүтөт.

Кийинки этабы болуп, өндүрүлүп чыккан кубаттуулуктун түзүлүшүн оптималдаштыруу (өтө ыңгайлуу абалда), системалар аралык байланыштын өткөрүү жөндөмдүүлүгүн «СОЮЗ» комплекстүү программасын [6] колдонуу менен болжолдогон (мисалы, 2020-ж) келечектеги пландарга жетишүү болуп эсептелет.

Мында системанын астындагы жылдык жана суткалык жүктөмөнүн графиктери тепкичтүү ийри сызык боюнча суммаланат, мүмкүнчүлүгү бар кубаттуулукту иштеп чыгуучу жаңы түзүлүштөрдүн көлөмү жана электр жеткирүүчү линиялар (ЛЭП) жана алардын теника-экономикалык көрсөткүчтөрү, иштеп чыгуучу агрегаттардын даярдык коэффициенти, резервдөө деңгээли ж. б. ушул сыяктуу маселелерди чечүүчү маалыматтар берилет.

Жыйынтыгында, карап жаткан маселе боюнча, кубаттуулукту иштеп чыгуучу жана системалар аралык байланыштын өткөрүү жөндөмдүүлүгү болжолдогон келечектеги пландарга жетишүү үчүн рационалдуу (туура) түзүлүштү алабыз.

Алынган жыйынтыктарды эске алуу менен негизинде, өндүрүлө турган кубаттуулукту иштеп чыгуучу жана системалык аралык байланыштардын өткөрүү жөндөмдүүлүгүн болжолдогон келечектеги пландарга жетүү үчүн ЭЭСти өнүктүрүү үчүн ар-бир сценариясын, негизги электр тармактарын өнүктүрүүнү оптимизациялоо болуп эсептелет. Бул үчүн «СЕТЬ» программалык коплекси [7] бул эмгекте колдонулат.

Мындан ары келечектеги ЭЭСтин иштөө жөндөмдүүлүгүн изилдөө болуп, ЭЭСтин эсептик схемасы жана кубаттуулукту иштеп чыгуучу түзүлүштү корректировкалоо талап кылынат. Мындай изилдөө ар бир ЭЭСти өнүктүрүү үчүн каралган сценарийге ыңгайлуу (жөндүү) болуп эсептелет.

СОЮЗ программалык комплексинин жардамы менен Кыргызстандын ЭЭСын өнүктүрүүнү оптимизациялоо үчүн төмөндөгүдөй негизги натыйжалуу шарттар кабыл алынган:

-системанын өнүгүүсү 2020-жылга чейин каралган күнү менен 2 сценарийге ылайык электрди керектөөнүн өсүшү эки системалык бөлүктө бирдей кабыл алынды: жылына 2%, электирди керектөөнүн өсүшүнүн орточо темпине дал келет: жылына 4% өлкөнүн бир топ интенсивдүү өнүгүсүүнө дал келет, жүктөмөнүн жылдык графиги эки мүнөздүү режимде аппроксимацияланган – жумушчу күндөрдүн кышкы максимуму жана жайкы минимуму: жүктөмөнүн суткалык графиги жайкы мезгил үчүн төрт интервал менен жана ар бир интервалдын деңгээлиндеги өзгөрүлбөгөн маани менен кышкы мезгил үчүн 12 интервал менен апроксимацияланган (аппроксимировались):

-иштеп жаткан ГЭСтерге кубаттуулукту берүүнү мүмкүн болгондой көбөйтүү жана жаңы электростанцияларды жүктөө (Камбарата ГЭСи жалпы максималдык курулган кубаттуулугу 2260 МВт) Нарын дарыясынын жана анын кошулмаларынын орточо көп жылдык суулуулугунун шарттары үчүн берилген: альтернативдик вариантта аз суулуу жылдарга ылайык ГЭСтин электроэнергияны иштеп чыгуусуна бир топ каттуу чектөөлөр каралган, мында суунун көпчүлүк учурдагы мезгилинен 20% ге төмөн [8].

СОЮЗ программалык коплекси боюнча эсептөө жолу менен алынган жылына 4% электр керектөөлөрүнүн өсүүсү менен өлкөнүн интенсивдүү өсүүсүндөгү 2020-жылга чейинки келечегине Кыргызстандын ЭЭСнын электростанцияларынын кубаттуулугун пайдаланууну чоңойтулган көрсөткүчтөрү 2-таблицада киргизилген.

2-таблицадагы көрсөткүчтөр көрсөткөндөй дарыялардын орточо көп жылдык суулуу (суунун көбөйгөн учурдагы) шарттарында өсүп жаткан жүктү жабуу үчүн электростонциялардын кубаттуулугунун өсүүсү өзгөчө Камбарата ГЭСнин курулушунун эсебинен жүргүзүлсө, ушунун негизинде мамлекеттин Түндүк жана Түштүк ЭЭСтеринде ТЭЦтерди өнүктүрүү талап кылынбайт.

Белгилей кетчү нерсе, Камбарата ГЭСнин электро энергиялары, дарыялардын орточо көп жылдык шарттарында жолугуу менен практикада колдонулат: Саатына 6808 МВт, 2020-ж – бул каралуучу шарттар үчүн Камбарата ГЭС берилүүчү электроэнергиянын максималдуу мүмкүнчүлү.

Союз программалык комплексинин эсептөөлөрү, Түндүк жана Түштүк ЭЭСти бириктирип турган байланышты күчтөтүү керектигин көрсөтөт.

Экономиканын интенсивдүү өсүүсүндөгү келечегине Кыргызстанды ЭЭС электростанцияларынын кубаттуулугун пайдалануу көрсөткүчтөрү.

**2-таблица.**

| ЭЭС | Электростанциялар | 2005 г. | 2010 г. | 2015 г. | 2020 г. |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Түндүк | ТЭЦ | 666<br>3130 | 666/666<br>3138/3135 | 666/706<br>3165/3494 | 748/1249<br>3814/7490 |
| | ГЭС | 76<br>360 | 79/79<br>374/369 | 79/286<br>379/1560 | 334/290<br>1945/1559 |
| Түштүк | ТЭЦ | 50<br>230 | 50/50<br>237/238 | 50/50<br>235/300 | 50/50<br>243/245 |
| | Азыркы учурдагы иштеп жаткан ГЭСтер | 2870<br>9860 | 2870/2870<br>9930/7949 | 2870/2870<br>9931/7950 | 2870/2870<br>9930/7950 |
| | Камбаратинские ГЭС | 0<br>0 | 266/650<br>1608/3901 | 834/910<br>5007/5450 | 1158/1169<br>6808/5450 |
| | Баары | 3662<br>13580 | 3931/4315<br>15287/15592 | 4499/4822<br>18717/18754 | 5160/5628<br>22740/22694 |

*Эскертүү:* Сызыктын үстүндөгүлөр – кубаттуулук, МВт; сызыктын алдындагылар – электрдик энергия, МВт*саат, орточо көп жылдык суучулук мезгил / аз суучулук мезгилдеги жылдар.

СДО-6 программалык комплексин пайдалануу менен авариядан кийинки режимдердин эсебинин жогоруда айтылгандай методика менен 2020-жылдын деңгээлиндеги Кыргызстандын ЭЭСнын схемаларынын иштөө жөндөмдүүлүгүнүн анализине ылайык жана ПАУ [9] программалык комплексинин жардамында динамикалык туруктуулук көрсөткөндөй, интенсивдүү өнүгүүсүндө дарыялардын орточо көп жылдык суунун көбөйгөн учурдагы мезгилинде бир топ оор шарттардын орду болуп саналат. Бул изилдөөлөрдүн негизинен Түштүктөгү ЭЭСде ондогон кошумча 500 жана 220 кВ электрэнергиясын берүү линияларын (ЛЭП) куруу жолу менен негизги электрдик тармактарды күчтөтүү талап кылынат.

**Корутунду**, изилдөө обңектисинде эки даражалуу моделдештирүү негизделген, ГЭСтин чоң үлүшү менен ЭЭСтин өнүгүүсүн негиздөө методикасы иштелип чыгылды. Ушул методиканы пайдалануу менен Кыргызстандын ЭЭСтин 2020-жылга чейинки өнүгүүсүнүн болжолдуу планы аткарылды. Божомолдун жыйынтыгы иштелип чыгылган эки даражалуу кадамдын эффективдүүлүгүн тастыктайт.

**Колдонулган адабияттар**

1. Абраменкова Н.А., Воропай Н.И., Заславская Т.Б. Структурный анализ электроэнергетических систем (В задачах моделирования и синтеза). - Новосибирск: Наука, 1990. – 224 с.

2. Анализ неоднородности электроэнергетических систем / О.Н. Войтов, Н.И. Воропай, А.З. и Гамм и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 256 с.

3. Воропай Н.И. Иерархическое моделирование при обосновании развития электроэнергетических систем // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003, №4(4). – С. 24-27.

4. Апиев Н.К. Применение структурного анализа в исследованиях развития ЭЭС Кыргызстана (характеристика проблемы и некоторые результаты)// Системные исследования в энергетике. Материалы конф. молодых ученых ИСЭМ СО РАН. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2005. – С. 25-31.

5. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем / Н.А. Мурашко, Ю.А. Охорзин, Л.А. Крумм, О.Н. Войтов и др. Новосибирск: Наука, 1987, 240 с.

6. Воропай Н.И., Труфанов В.В. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях // Электричество, 2000, №10, с. 6-12.

7. Усов И.Ю. Методика оптимизации развития основной электрической сети с использованием показателей структурного анализа // Системные исследования в энергетике: Тр. молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Иркутс к: ИСЭМ СО РАН, 2003, Вып. 33, с. 73-80.

8. Касымова В., Баетов Б. Энергетическая стратегия Киргизии сегодня и на перспективу // Мировая энергетика, 2007, №9(45), с. 62-64; №10(46), с. 76-72.

9. Ефимов Д.Н., Попов Д.Б. Открытая система моделирования переходных процессов в ЭЭС // Энергосистема: управление, качество, безопасность. Сб. докл. Всерос. н.-т. конф. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2001, с. 131-135.