ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЭКОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТАБИҒИ РЕСУРСТАР МИНИСТРЛІГІ

«Жасыл даму» акционерлік қоғамы

Базалық сценарийдегі парниктік газдар шығарындыларын талдау және модельдеу құралдарын жаңарту туралы есеп

Астана, 2023 жыл

Бекіту парағы

Базалық сценарийдегі парниктік газдар шығарындыларын талдау және модельдеу құралдарын жаңарту туралы есеп

№	Аты-жөні	Лауазымы	Қолы
1	Кабдолданов Нұржан Кенесбайұлы	"Жасыл даму"АҚ Басқарма Төрағасының Орынбасары, Басқарма мүшесі	
2	Насирхан Рустам	"Жасыл даму" АҚ модельдеу, талдау және болжау департаментінің директоры	
3	Бакдолотов Айдын Айсултанович	"Жасыл даму"АҚ модельдеу, талдау және болжау департаментінің менеджері	
4	Оразханова Альфия Саматовна	"Жасыл даму"АҚ модельдеу, талдау және болжау департаментінің менеджері	

Мазмұны

Суреттер тізімі 5
Кестелер тізімі 5
1. Кіріспе 7
2. Энергетикалық жүйелерді техникалық-экономикалық TIMES модельдеу 9
2.1. TIMES моделінің негізгі құрылымы және математикалық тұжырымы . 10
2.1.1. TIMES экономикасы 10
2.1.2. Уақыт көкжиегі 11
2.1.3. Энергия жүйесінің құрамдас бөліктері 14
2.1.4. Модел құрылымы 14
2.1.5. TIMES атрибуттарына шолу 16
2.1.6. Теориялық ойлар 17
2.1.7. Сұраныс функцияларының анықтамасы 21
2.1.8. TIMES тепе-теңдік тұжырымы 21
2.1.9. Есептеу ойлары 22
2.2. Қазақстандық TIMES моделінің сипаттамасы 23
2.2.1. TIMES-KAZ моделінің негізгі параметрлері 23
2.2.2. TIMES- KAZ функциясының мақсаты 26
2.2.3. TIMES моделінің теңдеулері 29
2.2.4. TIMES моделінің сценарий шарттары 43
2.2.5. Климаттық параметрлер 45
2.2.6. Дискретті инвестициялық жағдай 45
2.3. Саясат пен шаралар 48
2.4. ПГ шығындыларының сценарийлері 49
2.5. Энергетика секторында парниктік газдар шығарындыларының нәтижелері…..... 49
2.6. Қорытынды 56
3. Энергетикалық жүйені модельдеудің техникалық-экономикалық негіздемесі PyPSA-ға кіріспе 58
3.1. Қазақстанның электр энергетикасы үшін PyPSA үлгі деректері 60
3.1.1. Жұмыс процесін басқару 60
3.1.2. Желілер мен электр станцияларының моделі 65
3.1.3. Жаңартылатын энергия көздері 67
3.1.4. Кеңістіктік кластерлеу әдісі 70

3.1.5. Жоспарлау көкжиегі 71
3.1.6. Модель және есептеу модулінің интерфейсі 72
3.1.7. Электр энергетикасын дамытудың негізгі сценарийі 72
3.2. Базалық сценарийді модельдеу 76
3.2.1. Есептің математикалық тұжырымы 77
3.2.2. Модельдеу нәтижелері 81
3.3. Қорытынды 87
4. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 88

Суреттер тізімі

Сурет 2.1.1. Периодтардағы уақыт кесінділері 13
Сурет 2.1.2 . Анықтамалық энергия жүйесі (АЭЖ) 15
Сурет 3.1.1. Snakemake ережесінің мысалы. 61
Сурет 3.1.2. PyPSA үлгісі үшін бағытталған циклдік процесті орындау графигі 62
Сурет 3.1.3. Ауыстыру үлгілері бар Snakemake ережесінің мысалы. 63
Сурет 3.1.4. Электр желілерінің географиялық орналасуы және генерациясы 66
Сурет 3.1.5. Қазақстанның 2018 жылға арналған гидроэнергетикасының тәуліктік әлеуетінің бейіні. 68
Сурет 3.1.6. Қазақстанның 2018 жылға арналған күн энергиясының тәуліктік әлеуетінің бейіні. 68
Сурет 3.1.7. Қазақстанның 2018 жылға арналған жел энергиясының тәуліктік әлеуетінің бейіні 69
Сурет 3.1.8 . Жел энергиясының потенциалы. 69
Сурет 3.1.9. Күн энергиясының потенциалы. 70
Сурет 3.1.10. Қазақстанның кластерлеуден кейінгі желілік моделі 71
Сурет 3.1.11. ҚР электр энергиясын тұтыну болжамы. 73
Сурет 3.1.12. ҚР ЖІӨ өзгерісінің болжамы. 74
Сурет 3.1.13. Технология құнының өзгеру кестесі 75
Сурет 3.2.1. Әр түрлі технологиялар үшін қуаттың оңтайлы өсуі. 82
Сурет 3.2.2. Әр технологияға жылдық күрделі шығындар 84
Сурет 3.2.3. Электр энергиясы секторының CO2 шығарындыларының жылдық көлемі 85
Сурет 3.2.4. Өңірлер арасындағы электр беру желілерінің өткізу қуатын оңтайлы ұлғайту. 85
Сурет 3.2.5. Жылдық жалпы күрделі шығындар. 86

Кестелер тізімі

Кесте 2.2.1 . Әртүрлі отын түрлеріне арналған эмиссиялық коэффициенттер, кг/ГДж 45
Кесте 2.2.2. TIMES-KAZ үлгісіндегі дискретті нұсқалар 47
Кесте 2.3.1 . Секторлар бойынша саясаттар мен шаралардың жиынтық кестесі 48
Кесте 2.5.1 . Энергетика секторынан парниктік газдар шығарындыларын дамыту сценарийлері, МтCO2экв 50
Кесте 2.5.2 . Электр энергиясын өндіру, млрд кВт/сағ 51
Кесте 2.5.3 . Электр станцияларының орнатылған қуаттары, ГВт 52
Кесте 2.6.1. PyPSA-ға ұқсас әртүрлі бағдарламалық құралдардың мүмкіндіктерін салыстыру [11] 59

Кесте 3.1.1. Қазақстандық PyPSA моделіне арналған Snakemake ережелерінің қысқаша сипаттамасы..... 63
Кесте 3.1.2. Аймақ белгілері 71
Кесте 3.1.3. Базалық сценарийдегі күн және жел электр станциялары мен қайта зарядталатын батареялардың болжамды күрделі шығындары ($/МВт) ... 74
Кесте 3.2.1 Облыстар бойынша қуаттарды ұлғайту..... 82

1. Кіріспе

TIMES моделінің генераторын (The Integrated MARKAL-EFOM System немесе «Integrated System, and MARKAL-EFOM») пайдалана отырып, энергетикалық жүйені тех никалық-экономикалық модельдеу Қазақстанда 2009 жылдан бері ұзақ тарихы бар. Осы жылдар ішінде энергетикалық жүйе моделі ғылыми жарияланымдарды дайындау және Ұлттық коммуникациялар және ҰДК жол картасының мақсатын есептеу үшін екіжылдық есептер сияқты әртүрлі жобаларға материалдар дайындау үшін зерттеу мақсаттары үшін әзірленді. Модельдер парниктік газдар шығарындыларының болжамына қызығушылық танытатын халықаралық ұйымдар үшін де қолданылған (мысалы, Дүниежүзілік банк PMR (Нарық дайындығы бойынша серіктестік) бағдарламасы). TIMES моделі көміртегінің бейтараптығына қол жеткізу стратегиясы үшін де белсенді түрде қолданылды. Қазақстан 2060 жылға дейін 2023 жылдың 2 ақпанында қабылданған және т.б.

«Төмен көміртекті экономикалық даму үшін Қазақстан мен Орталық Азиядағы жасыл экономиканы қолдау – Қазақстандағы төмен көміртекті экономикалық дамудың экономикалық, экологиялық және әлеуметтік әсерін модельдеу» жобасының шеңберінде Қазақстан үшін жаңа TIMES моделі әзірленді. 2060 жылға дейінгі уақыт көкжиегі бойынша түрлі сценарийлер бойынша елдің энергетикалық секторын дамытудың баламалы нұсқаларын талдау.

Қазіргі уақытта TIMES-KAZ моделі жұмыс күйінде ұсталады және ҚР экономикасы бойынша жаңа деректердің шығуына, орналастыруға қолжетімді жаңа технологиялар бойынша жаңа деректерге және басқа да көптеген мәліметтерге сәйкес жаңартулар мен калибрлеуден уақтылы өтуде.

Бұл жұмыста модель ағымдағы жылдың барлық деректерін жаңартқаннан кейін ағымдағы күйде сипатталған. Жұмыста қазақстандық модельдің теңдеулерінің теориялық негіздемесі мен математикалық тұжырымдары берілген. Қазақстан моделінің негізгі параметрлері келтірілген.

Алдымыздағы жылы модельде атқарылған негізгі жұмыстардың қатарында:

2017 жылдан 2021 жылға дейін базалық жылды жаңарту;

Жаңа технологиялар базасын жаңарту;

Энергетикалық жүйенің негізгі үлгілерін жаңарту;

Сұраныс драйверлерінің проекциясын жаңарту;

Драйверлерге сұраныстың икемділік коэффициенттерін жаңарту;

Энергия ресурстарына соңғы сұранысты жаңарту;

Экономикалық және энергетикалық жүйенің тарихи құндылықтары бойынша үлгіні калибрлеу.

Бұл аналитикалық құжат екі негізгі сценарийге негізделген егжей-тегжейлі математикалық бағалауларды белгілейді: негізгі және декарбонизация сценарийі. Бұл сценарийлер парниктік газдар шығарындыларын азайтумен тікелей немесе жанама байланысты әртүрлі үкіметтік саясаттар мен стратегиялық тәсілдерге назар аударады. Бұл саясаттар мен шаралар алдымен олардың әлеуетті көлемі мен экожүйеге әсерін анықтау үшін талданған. Осыдан кейін, күтілетін әсерлерді жақсырақ түсіну үшін бұл стратегиялар үлгіленді, содан кейін парниктік газдар шығарындыларының ықтимал төмендеуін бағалау үшін есептелді.

Жалпы алғанда, есеп деректердің статикалық тізімі ретінде ғана емес, сонымен қатар шығарындыларды азайтудың әртүрлі стратегияларын зерттеуге арналған динамикалық құрал ретінде де қызмет етеді. Ол заң шығарушыларға, экологтарға және басқа да мүдделі тараптарға экологиялық саясатқа негізделген шешімдер қабылдауға көмектесетін құнды ақпарат береді. Бұл талдау шығарындыларды азайтудың ағымдағы әдістерін ғана емес, сонымен қатар олардың одан әрі даму перспективаларын зерттейді, осылайша мәселенің жан-жақты көрінісін береді. Модельдеу нәтижелеріне сүйене отырып, әртүрлі саяси шешімдер мен стратегиялардың әлеуетті тиімділігін бағалауға болады, бұл оларды оңтайландыруға және, сайып келгенде, парниктік газдар шығарындыларын едәуір азайтуға қол жеткізуге мүмкіндік береді.

2. Энергетикалық жүйелерді техникалық-экономикалық TIMES модельдеу

TIMES (Integrated MARKAL-EFOM жүйесі немесе «Integrated MARKAL-EFOM жүйесі») — жергілікті, ұлттық, аймақаралық немесе тіпті жаһандық масштабтағы әртүрлі энергетикалық жүйелердің техникалық және экономикалық үлгілерін жасауға арналған жетілдірілген құрал. Бұл жүйе әртүрлі уақыт аралықтарында энергетикалық жүйенің өзгеру динамикасын көрсететін бай және технологиялық тұрғыдан бай платформаны ұсынады.

TIMES модельдер тобы туралы толық ақпарат Халықаралық энергетика агенттігінің веб-сайтында берілген [1].

TIMES егжей-тегжейлі технологиялық көрініске негізделген, бұл оны талдау және модельдеу үшін ерекше құнды етеді. Бұл құрал көбінесе энергетикалық секторды тұтастай талдау үшін пайдаланылғанымен, оның икемділігі оны энергетикалық сектордағы нақты ішкі секторларды зерттеу үшін де пайдалануға мүмкіндік береді. Мысалы, оны электр энергиясын өндіру секторы немесе орталықтандырылған жылу жүйелері сияқты салалармен егжей-тегжейлі шешуге бейімдеуге болады. TIMES – энергетика саласындағы мамандар үшін энергетикалық жүйелердің әртүрлі аспектілерінің дамуын талдау мен болжауда таптырмас құрал бола алатын қуатты және жан-жақты құрал.

Автокөлік саяхаты, әуе саяхаты, үйді жарықтандыру, тұрмыстық техника немесе қағаз өнеркәсібіндегі бу жылуын тұтыну сияқты әр түрлі соңғы тұтынушылардың энергия қажеттіліктерін бағалау жоспарлаудың негізгі нүктесі болып табылады. Анықтамалық сценарийдің дәл орындалуын қамтамасыз ету үшін пайдаланушы әрбір аймақ үшін осы қажеттіліктер туралы толық ақпаратты береді. Бұл ақпарат стратегияны әзірлеудің бастапқы нүктесі болады.

Сонымен қатар, әртүрлі салалардағы энергетикалық жабдықтардың ағымдағы жағдайы туралы деректер келтірілген. Сондай-ақ пайдаланушы жақын арада енгізілуі мүмкін жаңа технологиялардың мүмкіндіктерін сипаттайды. Бұл сипаттамалар олардың тиімділігін, құнын және қоршаған ортаға ықтимал әсерін қамтиды. Сонымен қатар, бастапқы энергияның ағымдағы және әлеуетті көздеріне назар аударылады. Болашақта сенімді және тұрақты энергиямен қамтамасыз ету үшін олардың қолжетімділігі, ықтимал тәуекелдер мен артықшылықтар ескеріледі.

TIMES моделі ең төменгі қаржылық шығындармен энергия қызметтерін жеткізуді оңтайландыру үшін әртүрлі кірістерді пайдаланады. Бұған жаңа жабдыққа арналған инвестициялық шешімдер мен оны кейіннен пайдалану әдістері, бастапқы энергия көздерін анықтау және әртүрлі аймақтардағы энергия саудасының стратегиялары арқылы қол жеткізіледі. Мысалы, егер тұрғын үйлерді жарықтандыруға арналған электр энергиясын тұтыну бастапқы деңгейден жоғарыласа (бұл жарықтандыру жүйелеріне бағаның төмендеуіне немесе ЖІӨ өсу болжамының өзгеруіне байланысты болуы мүмкін), не

[1] https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times

қолданыстағы электр энергиясын өндіруші жабдықты белсендірек пайдалану керек, не жаңасын орнату, мүмкін тиімдірек жабдықты орнату.

Генераторлық жабдықтың белгілі бір түрін және бұл үшін пайдаланылатын отынды таңдағанда, модель терең талдау жасайды. Ол қолда бар әртүрлі генерациялау технологияларының сипаттамаларын, энергиямен жабдықтаудың қаржылық құрамдас бөлігін ескереді және экологиялық стандарттарға сәйкестікті белгілейді. Нәтижесінде, TIMES заманауи энергетикалық инфрақұрылымның барлық аспектілерін қамтитын жан-жақты құрылымдық үлгі ретінде жұмыс істейді.

Модельдің ауқымы тек энергетикалық аспектілерден әлдеқайда асып түсетін ақпарат көлемін қамтиды. Ол қоршаған ортаға әсер ететін шығарындылардың егжей-тегжейлі талдауын қамтиды және тіпті энергетикалық жүйенің жұмысымен тікелей немесе жанама әрекеттесетін материалдар туралы ақпаратты қамтуы мүмкін. Бұл энергия тұтынуды бағалау құралы ғана емес, сонымен қатар қоршаған ортаға әсерді зерттеудің қуатты ресурсы. Бұл жан-жақты түсінік оны энергетикалық және экологиялық саясатты талдаудың негізгі құралына айналдырады. Модель көптеген технологиялық аспектілерді және экономиканың әртүрлі салаларындағы отынның әртүрлі түрлерін ескереді. Осы егжей-тегжейлі қарастырудың арқасында ол белгілі бір саяси шешімдерді қабылдаудың салдарын терең түсінуге бірегей мүмкіндік береді. Бұл мамандарға дәлелді ақпарат негізінде саналы таңдау жасауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде тұрақты және экологиялық таза энергетикалық саясатқа ықпал етеді.

TIMES энергетикалық жүйесінің моделі әртүрлі тауарлардың саны мен құны арасындағы байланыстардың күрделі көрінісі болып табылады. Бұл жүйеде сұраныс пен ұсыныс арасындағы тепе-теңдік ізделеді, бұл кез келген белгілі бір уақыт кезеңінде осы тауарлардың бағасы мен ұсынысы нарық шынымен талап ететін нәрсеге сәйкес келеді. Яғни, өндірушілер өз өнімдерін тұтынушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін икемділіксіз бейімдейді. Бұл тепе-теңдіктің негізгі аспектілерінің бірі оның жалпы экономикалық профицитті барынша арттыру мүмкіндігі болып табылады. Бұл тұтынушылардың төлеуге дайындығы мен тауар өндіру құны арасындағы айырмашылық оңтайландырылған кезде жүйе ең тиімді жұмыс істейді, бұл сайып келгенде жалпы экономиканың әл-ауқатына ықпал етеді.

2.1. TIMES моделінің негізгі құрылымы және математикалық тұжырымы

2.1.1. TIMES экономикасы

TIMES экономикасы әр түрлі тауарларды өндірушілер мен тұтынушыларды қоса алғанда, субъектілердің кең ауқымын қамтитын күрделі жүйе болып табылады. Бұл тауарларды энергияға, материалдарға, энергетикалық

қызметтерге және шығарындыларға бөлуге болады. Бұл күрделі желіде энергетикалық нарық бірінші кезекте бәсекелестік принципі бойынша жұмыс істейді. Негізінде бұл нарықтың әрбір қол жетімді өнім үшін табиғи түрде бәсекеге қабілетті позицияны қабылдайтынын білдіреді.

Дегенмен, бұл бәсекелес әдепкі сценарий шындыққа сәйкес келмеуі мүмкін. Модельдеуші әртүрлі себептермен энергетикалық жүйенің белгілі бір сегменттеріне реттеуші немесе басқа шектеулер түрлерін енгізуі мүмкін. Мұндай ерікті араласулар нарықтың табиғи тепе-теңдігін өзгертуі мүмкін. Толық бәсекеге қабілетті нарықтың орнына, нәтижесінде ішінара реттеу жағдайы болуы мүмкін. Демек, сұраныс пен ұсыныс динамикасы бірегей тепе-теңдікке жетеді. Бұл тепе-теңдік таза жалпы профицитті барынша арттыруға бағытталған, бұл негізінен өндірушілердің де, тұтынушылардың да профициттерінің жиынтық құны болып табылады.

Айта кету керек, TIMES әрқашан мінсіз бәсекелестік нарық қағидаттарын қатаң ұстана бермейді. Модельдеушілерге пайдаланушы анықтайтын арнайы шектеулерді қосу арқылы осы стандартты болжамнан ауытқуға рұқсат етіледі. Бұл шектеулердің кейбір мысалдарына белгілі бір технологияларды енгізуге шектеулер, шығарындыларға шектеулер немесе мұнайдың сыртқы бағасын енгізу жатады. Оның үстіне, нарықтың жетілмегендігі бұл шектеулердің салдары ғана емес. Олар сондай-ақ қасақана саяси шешімдерден немесе нарықтық араласудан туындауы мүмкін. Салықтар, субсидиялар және тосқауыл мөлшерлемелері осындай шаралардың жарқын мысалы болып табылады. Бұл элементтер нақты әлемнің күрделілігін көрсетіп қана қоймайды, сонымен қатар TIMES үлгісінде энергетикалық экономиканы егжей-тегжейлі көрсетуге мүмкіндік береді.

Тепе-теңдік тапсырмасын орындау кезінде TIMES энергия жүйесінің жұмысын белгілі бір уақыт аралығына реттейді және мұндағы мақсат жүйенің жалпы құнын барынша азайту болып табылады. Басқа интерпретацияда бұл таза жалпы профицитті барынша арттыру ретінде де қарастырылуы мүмкін. TIMES уақыттың берілген нүктесін жай ғана статикалық түрде қарастырмайтынын ескеру маңызды. Модель барлық болашақ оқиғалар мен айнымалылар туралы толық түсінікке ие бола отырып, әр кезең ішінде қабылдануы қажет барлық инвестициялық шешімдерді ескере отырып, динамикалық түрде жұмыс істейді. Модельдің қазіргі уақытта болашақ оқиғаларды болжау және есепке алу қабілеті TIMES-тің тамаша болжау қасиеті бар деп айтуға негіз береді, бұл оны энергетикалық жүйелерді жоспарлау мен талдауда ерекше құнды етеді.

2.1.2. Уақыт көкжиегі

Модельдің уақыт көкжиегі – негізгі жылдан соңғы жылға дейінгі болжамды уақыт кезеңі және ол әрі қарай бірнеше кезеңдерге бөлінеді. Пайдаланушы олардың санын анықтайды және әр кезең бірнеше жылды қамтуы мүмкін. TIMES бағдарламалық құралында таңдалған уақыт аралығындағы

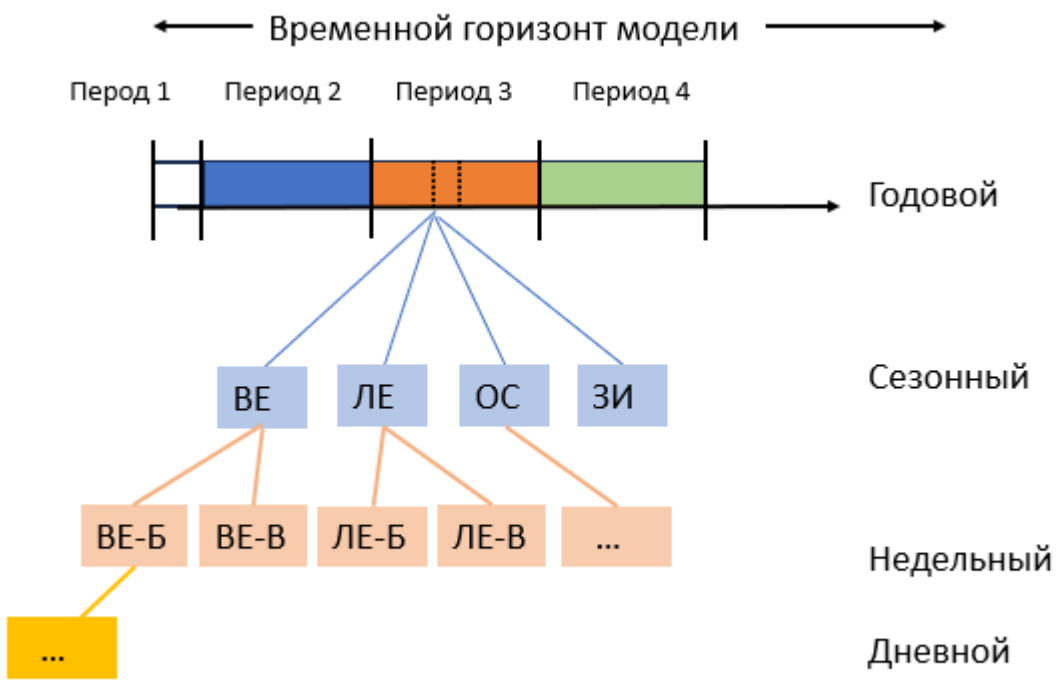
барлық жылдар дәл солай қарастырылады. Жалғыз ерекшелік - қарастырылып отырған кезеңдегі әр жыл үшін әртүрлі төлемдерді есепке алатын мақсатты шығындар функциясы.

Қуаттар, тауар ағындары, жабдықты пайдалану деңгейлері және т.б. сияқты басқа параметрлер жағдайында белгілі бір t кезеңі үшін алынған кез келген кірістер немесе нәтижелер осы уақыт аралығындағы барлық жылдарға қолданылады. Дегенмен, инвестициялық айнымалылар үшін ерекшелікті атап өткен жөн: әдетте мұндай параметрлер бүкіл кезеңде тек бір рет енгізіледі. Бұл инвестициялар әдетте қарастырылатын уақыт кезеңдерінің әрқайсысы үшін деректерді енгізудің бастапқы кезеңінде ескерілетінін білдіреді.

Модельдегі бастапқы кезең өткен уақыт аралығымен байланысты, оның барысында модель шектелген және өзінің әрекет еркіндігін пайдалана алмайды. Осы кезеңде барлық негізгі көрсеткіштерді пайдаланушы нақты тарихи құндылықтарына сүйене отырып анықтайды. Осы саладағы мамандар жиі бір күнтізбелік жылға созылатын бастапқы кезеңді пайдалануға кеңес береді. Бұл белгіленген энергия статистикасы негізінде калибрлеу процесін жеңілдету үшін жасалады.

Бастапқы кезеңге сәйкес калибрлеу TIMES үлгісін реттеуде маңызды рөл атқарады. Бұл процесс егжей-тегжейлі және дәлдікке мұқият назар аударуды талап етеді. Осы контекстте түзетуді қажет ететін негізгі айнымалылар: әртүрлі технологиялардың өнімділігі мен өнімділік деңгейлері. Бұған қоса, бұл өндіріс көлемін, экспорттық және импорттық операцияларды, энергия ресурстарының барлық түрлерін өндіру мен тұтынуды қамтиды. Егер модельде шектен тыс мәндер де қарастырылса, онда олар да осы процесте калибрленуі керек.

Уақыт кезеңдерімен қатар басқа уақыт кезеңдері де бар. Бұл интервалдар, көбінесе уақыт үзінділері деп аталады, пайдаланушының қажеттіліктеріне немесе қалауларына байланысты теңшеу мүмкіндігін береді. Осылайша, адамдар өздерінің тілектері мен мақсаттарына сүйене отырып, осы немесе басқа интервал қанша уақытқа созылатынын дербес анықтай алады. Бұл жоспарлау мен уақытты басқаруда икемділік береді, бұл әркімге өзі үшін ең қолайлы форматты таңдауға мүмкіндік береді.



Сурет 2.1.1. Периодтардағы уақыт кесінділері

Пайдаланушы әртүрлі уақыт аралықтарын, мысалы, әртүрлі маусымдарды, күн мен түннің бөліктерін немесе тіпті жұмыс және демалыс күндеріне бөлуді ескеру қажеттілігіне жиі тап болуы мүмкін. Бұл уақыт шеңберлерін түсіну кейбір жағдайларда өте маңызды болады. Мысалы, белгілі бір энергия көзінің құны мен өндіру әдісі маусымға байланысты күрт өзгеруі мүмкін кезде. Бұл әсіресе белгілі бір энергетикалық өнімді сақтау жоғары шығындармен байланысты болса дұрыс. Сондықтан мұндай ресурсты өндіру мен тұтыну арасындағы нақты үйлестіру қажет. Сондай-ақ, энергия өндіру технологияларының өзінде жыл мезгіліне байланысты ерекше ерекшеліктер болуы мүмкін екенін ескерген жөн. Бұған мысал ретінде өзен ағындарында жұмыс істейтін жел электр станцияларын немесе су электр станцияларын келтіруге болады. Мұндай жағдайларда технологиялық қондырғылардың әр уақыт аралығындағы жұмысын дәл жоспарлау және бақылау қажет.

Кейбір тауарлар мен қызметтер, мысалы, электр қуаты, орталықтандырылған жылу, табиғи газ, өнеркәсіптік бу немесе сутегі, уақытты анықтауға ерекше назар аударуды қажет етеді. Өйткені олар күн немесе жыл уақытына байланысты әртүрлі сипаттамаларға немесе құнына ие болуы мүмкін.

Уақытты жыл сайынғы аралықтарға бөлудің қосымша негіздемесі қымбат инфрақұрылымды инвестициялау қажеттілігімен байланысты. Бұл инфрақұрылым уақыттың белгілі бір кезеңдерінде өнімге максималды сұранысты қанағаттандыру мүмкіндігіне ие болуы керек. Тауарларды кейіннен басқа кезеңдерде жөнелту мақсатында бір уақыт аралықтарында сақтауға мүмкіндік беретін әртүрлі технологиялық шешімдер бар. Бұл әдістер мен

технологияларды зерттеуге, анықтауға және оларды тиімді пайдалану үшін үлгілерді жасауға болады.

Бұл тәсілдің маңыздылығы компаниялардың инфрақұрылымды барынша тиімді пайдалануды қамтамасыз ете отырып, өз ресурстарын оңтайландыруында. Бұл шығындарды үнемдеуге әкелуі мүмкін, өйткені кәсіпорындар тек мезгіл-мезгіл пайдаланылатын нысандарға көп қаражат салудың қажеті жоқ. Негізінде бұл қорларды басқару және ресурстарды бөлу саласында икемді және ұтымды жоспарлауға мүмкіндік береді.

2.1.3. Энергия жүйесінің құрамдас бөліктері

TIMES энергетикалық үнемділігі үш негізгі компонентпен сипатталады:

1. Технологиялар (немесе процестер): Бұл элементтер зауыттар, көліктер немесе тіпті тұрмыстық техника сияқты әртүрлі физикалық тұлғалармен ұсынылуы мүмкін. Олардың негізгі қызметі тауардың бір түрін басқа түрге айналдыру болып табылады. Олардың кейбіреулері, мысалы, өндіруші кәсіпорындар немесе импорттық механизмдер тауарлардың негізгі көздері ретінде қызмет етеді. Басқалары, мысалы, электр станциялары немесе мұнай өңдеу зауыттары шикізатты энергияға немесе басқа тауарларға айналдырады. Сондай-ақ энергияны тікелей пайдаланатын, оны тұтынушыларға арналған соңғы қызметтерге айналдыратын құрылғылар бар, мысалы, автомобильдер немесе жылу жүйесі.

2. Тауарлар: Бұл элемент әртүрлі энергия тасымалдаушыларын, энергия қызметтерін, материалдарды, тіпті ақша ағындарын немесе шығарындыларды қамтиды. Әрбір тауар бір процесс арқылы өндіріліп, екіншісінде тұтынылуы мүмкін, бұл әртүрлі технологиялар мен процестердің өзара әрекеттесуінің күрделі желісін жасайды.

3. Тауар ағындары: Олар белгілі бір процесс арқылы өтетін өнімнің белгілі бір көлемін білдіретін технологиялар мен тауарлар арасындағы көпір қызметін атқарады. Бұл ағындар тауардың қалай және қайда өндірілетінін немесе тұтынылатынын көрсетеді. Мысалы, жел турбинасының белгілі бір түрі өндіретін электр энергиясын қарастырайық. Уақыт аралығын және бұл орын алатын географиялық аймақты ескере отырып, біз нақты тауар ағыны туралы түсінік аламыз.

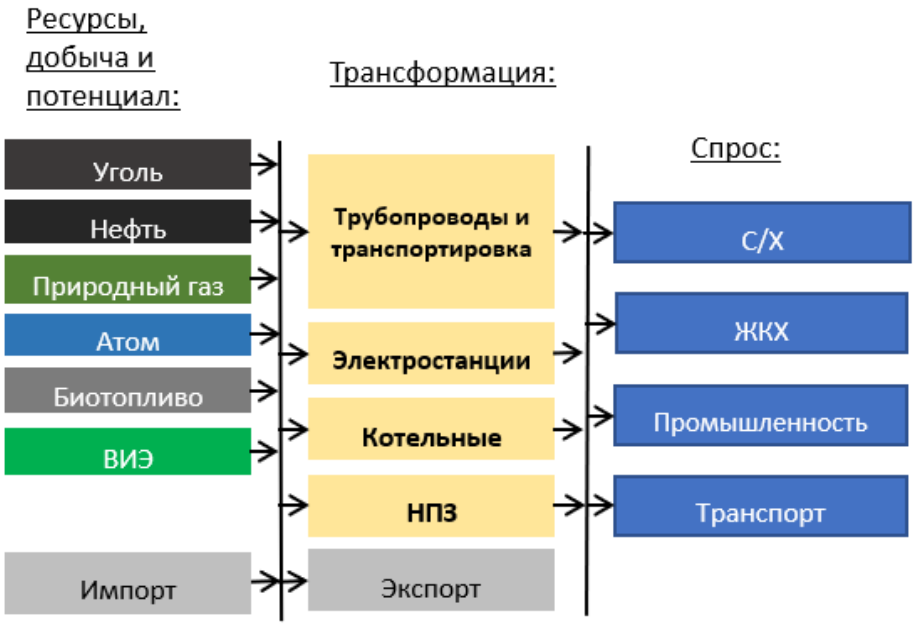
Осылайша, TIMES моделі энергия экономикасында күрделі желіні құра отырып, әртүрлі технологиялар, тауарлар мен ағындар бір-бірімен қалай әрекеттесетіні туралы түсінік береді.

2.1.4. Модел құрылымы

Әртүрлі элементтер арасындағы байланыстар мен өзара әрекеттесулерді терең түсіну үшін графикалық бейнелеуді пайдалану пайдалы. Осындай

әдістердің бірі эталондық энергетикалық жүйе (РЭС) деп аталатын желілік диаграмманы пайдалану болып табылады. Мұндай диаграммада жүйеде болып жатқан әрбір процесс тіктөртбұрыш түрінде бейнеленген. Ал осы процестердің нәтижесі немесе кірісі болып табылатын тауарлар тік сызықтармен бейнеленген.

Сілтемелер материалдарды немесе ресурстарды тасымалдау бағыты мен сипатын көрсету үшін пайдаланылады. Бұл сілтемелер технологиялық блоктарды көрсететін төртбұрыштарды тік өнім желілерімен байланыстырады. Бұл технологиялық блокқа қандай өнім немесе ресурс кіретінін, шығу кезінде қандай өнім немесе материал алынғанын көзбен көруге мүмкіндік береді. Осылайша, ЖЭК тауар ағындарының қозғалысын және әртүрлі элементтердің өзара әрекеттесуін бақылауды жеңілдете отырып, бүкіл жүйенің жұмыс істеуінің тұтас және жүйелі көрінісін қамтамасыз етеді.



Сурет 2.1.2 . Анықтамалық энергия жүйесі (АЭЖ)

Суретте энергетикалық қызметтерге салалық сұранысты қамтитын анықтамалық энергетикалық жүйе көрсетілген. Энергия тасымалдаушыларды (тауарларды) сәйкесінше көмірді, газды, мұнай өнімдерін және электр энергиясын пайдаланатын энергияны түпкілікті қамтамасыз ету технологиялары бар. Бұл энергия тасымалдаушылар, өз кезегінде, трансформация секторындағы диаграммада көрсетілген басқа технологияларды қолдану арқылы шығарылады. Негізгі энергия жағындағы тізбекті аяқтау үшін диаграммада көмір, табиғи газ, биоотын, ядролық және жаңартылатын көздер де көрсетілген. Қажет болса экспорттауға да, импорттауға да болады.

TIMES моделінің күрделі құрылымы бар, ол түптеп келгенде әртүрлі айнымалылар мен теңдеулердің негізінде қалыптасады. Бұл теңдеулер TIMES-ке тән негізгі теңдеулерді және пайдаланушы ұсынған ақпаратты біріктіру арқылы әзірленеді. Осы деректердің барлығы бірге әрбір TIMES үлгісінің бірегей дерекқорын анықтауға қызмет етеді.

2.1.5. TIMES атрибуттарына шолу

TIMES үлгісінде барлық шекаралар мен шектеулер конфигурацияланады және белгілі бір атрибуттар арқылы орнатылады. Бұл атрибуттарды процестер, өнімдер, деректер ағындары немесе тіпті TIMES функционалдығын жаңалау үшін арнайы жасалған бірегей айнымалылар сияқты әртүрлі элементтермен байланыстыруға болады. Бұл жүйе уақыт өте келе көптеген өзгерістерге ұшырады. Айта кету керек, TIMES соңғы нұсқаларында бұрын қолжетімсіз болған бірқатар жаңа атрибуттар бар. Бұл инновациялар пайдаланушыға басқару және конфигурациялау процесіне көбірек икемділік қосу және жақсарту үшін анағұрлым жетілдірілген және қуатты модельдеу құралдарын ұсынады. Жүйенің бұл эволюциясы мүмкіндіктерді үнемі кеңейтуге және пайдаланушылар үшін жетілдірілген құралдарды ұсынуға деген ұмтылысты растайды.

Жүйелер мен процестердегі атрибуттар әдетте екі негізгі категорияға бөлінеді: негізгі және реттік. Кардиналды атрибуттар нақты сандық мәндермен көрсетіледі. Мысалы, олар белгілі бір элементтердің санын немесе белгілі бір бірлік өлшемін көрсете алады. Екінші жағынан, реттік атрибуттар реттелген реттіліктермен немесе жиындармен байланысты, мұнда жеке элементтер бір-бірін белгілі бір ретпен орындай алады..

Процестер аймағынан мысал келтіру үшін, оларды сипаттау үшін кейде реттік атрибуттар қолданылатынын атап өтуге болады. Бұл атрибуттар ағындардың ішкі жиындарын нақтылауға көмектеседі. Анықталғаннан кейін олар ағынға қатысты арнайы шектеулерді жасау үшін негіз болады.

Сондай-ақ, көптеген жүйелер контекстінде әдетте параметрлер ретінде анықталатын негізгі атрибуттарға назар аударған жөн. Бұл параметрлер жүйенің әртүрлі элементтерін анықтауда және конфигурациялауда шешуші рөл атқарады.

Техникалық сипаттамалар

Техникалық параметрлер кез келген процесте маңызды көрсеткіштер ретінде қызмет етеді және процестің тиімділігі, әртүрлі қолжетімділік факторлары, қызмет бірлігіне жұмсалатын материалды тұтыну, қолданылатын отынның қызмет бірлігіне қатынасы, процестің орындалуын қамтамасыз ететін жалпы техникалық ресурс, уақыт сияқты көрсеткіштерді қамтиды. құрылыс жұмыстарына жұмсалған, бұзу жұмыстарының ұзақтығы мен мерзімдері, сондай-ақ құрылыс және бұзу кезінде жұмсалған және босатылған материалдардың жалпы көлемі.

Тиімділік тапсырманың сәтті болу дәрежесін көрсетеді, ал орындалу көрсеткіштері процестің аяқталу дәрежесі туралы түсінік береді. Енгізулер мен шығыстар процестің әрбір кезеңінде қанша ресурстар жұмсалғанын және босатылғанын егжей-тегжейлі көрсетеді. Бұл параметрлер процестің икемділігіне қойылатын нақты талаптарды, белгілі бір әрекеттер үшін таңдалған уақыт интервалдарын, сондай-ақ әртүрлі материалдар қолданылатын уақыт шеңберлерін ескере отырып, әртүрлі тәсілдермен бейімделуі және анықталуы мүмкін.

Айта кету керек, аталған параметрлердің кейбірі тек нақты процестерге қатысты болуы мүмкін. Мысалы, тауарларды сақтаумен байланысты процестер немесе әртүрлі аймақтар арасындағы сауда процестерінің өзіндік бірегей техникалық параметрлері болуы мүмкін. Бұл әрбір процеске жеке көзқарастың және параметрлердің нақты жағдайлар мен талаптарға бейімделуінің маңыздылығын көрсетеді.

Экономикалық сипаттамалар

Экономикалық көрсеткіштер мен өндіріс пен қызмет көрсету аспектілері шешім қабылдауда маңызды рөл атқарады. Бұл параметрлерге технологиялық немесе технологиялық инвестициялармен, пайдалану мерзімінің аяқталуын бөлшектеумен, ағымдағы жөндеумен және тіпті күнделікті пайдаланумен байланысты шығындар сияқты әртүрлі шығындардың кең ауқымы кіреді.

Технологияға инвестициялауды қарастырған кезде инвестициялық шығындар бір рет, дәлірек технологияны сатып алу немесе процеске бастапқы инвестициялау кезінде пайда болады. Бұл шығындар бастапқы капитал салымдарын білдіреді. Одан әрі жыл сайын қолданылатын технологияның қуаттылығының әрбір бірлігі үшін алынатын тұрақты жылдық шығындар бар. Бұл шығындар технологияның қаншалықты белсенді пайдаланылғанына байланысты емес; олар технология уақытша қолданыстан шығарылған жағдайда да пайда болады. Сонымен қатар, технологияны пайдалану дәрежесіне байланысты жыл сайынғы ауыспалы шығындар бар, олар қызметтің көлеміне немесе технологияны пайдалануына байланысты есептеледі.

Технологияға және оны ұстауға тікелей шығындардан басқа, басқа да экономикалық параметрлерді ескеру қажет. Салықтар мен субсидиялар, мысалы, инвестицияның немесе өндірістің белгілі бір кезеңдеріне салынуы мүмкін, осылайша процестің экономикалық құнын түзетеді. Субсидиялар шығындарды азайта алады, ал салықтар оларды көбейтеді.

Басқа негізгі экономикалық көрсеткіштерге процестің экономикалық мерзімі және есептік мөлшерлемесі жатады. Экономикалық өмір процеске негізгі инвестиция толығымен амортизацияланатын кезеңді анықтайды. Бір қызығы, бұл кезең технологияның нақты жұмыс уақытымен сәйкес келмеуі мүмкін. Дисконттау мөлшерлемесі ақшаның уақытша құнын анықтайды және ағымдағы жағдайларда болашақ төлемдерді есептеу үшін қолданылады. Бұл екі параметр де жобаның немесе инвестицияның соңғы экономикалық құнын анықтауда маңызды рөл атқарады.

2.1.6. Теориялық ойлар

Жартылай тепе-теңдік модельдері модельдер бір уақытта отын, әртүрлі материалдар және қызметтер сияқты әртүрлі тауарларды өндіру және тұтыну процестерін реттейді және тұрақтандырады деген тұжырымдамаға негізделген. Олар белгілі бір тауарды өндіру бағасы оның нарықтағы сұранысына тікелей әсер ететіндей өзара байланысты. Бірақ бұл бір жақты процесс емес, өйткені

тауарға сұраныс оның бағасын да анықтайды. Бұл механизмнің мәні мынада: нарықтық конъюнктура белгілі бір тепе-теңдікке жеткенде, бұл белгілі бір бағада p* және сәйкес q* сату көлемдерінде көрінеді. Мұндай сәтте ешбір тұтынушы q*-тан аз көлемде тауар сатып алуға ұмтылмайды, ал өндірушілер p* көрсетілген баға бойынша q*-тан жоғары өндіріс көлемін ұлғайтуға мүдделі емес. p* және q* екеуі де статикалық сандар емес, нарықтағы әртүрлі модельденген өнімдерге сәйкес келетін векторлық мәндер екенін түсіну маңызды.

Тереңірек түсіну үшін, нарықтардың әрқайсысы өзінің тепе-теңдік жағдайына жеткенде, бұл жалпы экономикалық профицитті барынша арттыруға әкелетінін атап өткен жөн, бұл өз кезегінде жалпы экономиканың оңтайлы тиімділігінің көрсеткіші болып табылады.

Энергетикалық жүйе модельдерінің классификациясы

Қазіргі әлемде әртүрлі елдер мен ұйымдар қолданатын энергия үлгілерінің алуан түрлілігі бар. Бұл модельдер әртүрлі мүдделі тараптарға немесе нақты жағдайларға қатысты болуы мүмкін белгілі бір аспектілерді атап көрсету үшін әртүрлі мақсаттармен жасалған.

Кейбір үлгілер қысқа мерзімді операциялық жоспарлауға назар аударуы мүмкін, ал басқалары ұзақ мерзімді инвестициялық шешімдерді қамтиды. Сондай-ақ, бұл модельдер арасындағы негізгі айырмашылықтардың бірі қолданылатын әртүрлі өнімдер мен технологияларды көрсететін егжей-тегжейлі деңгейі екенін атап өткен жөн. Бұл егжей-тегжейлі деңгей жалпы санаттардан нақты технологиялар мен өнімдерге дейін әртүрлі болуы мүмкін. Бұл аспект, атап айтқанда, модельдердің классификациясын анықтауға көмектеседі, оны құрылымды және түсінікті етеді. Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, модельдердің екі негізгі санатын бөлуге болады, олар төменде егжей-тегжейлі талқыланатын болады, дегенмен бұл энергетикалық саладағы модельдеудің көптеген ықтимал тәсілдерінің арасында жеңілдетілген жіктеу ғана.

«Жоғарыдан төмен» модельдер

Модельдік құралдардың кең спектрінің нүктелерінің бір жағында жалпы тепе-теңдік модельдері орналасқан. Бұл модельдерде экономиканың әрбір жеке секторы арнайы өндірістік функцияның көмегімен сипатталады. Бұл мүмкіндік негізгі өндірістік факторлар арасындағы ықтимал өзгерістер мен алмастыруларды имитациялауға арналған. Энергия, капитал және жұмыс күші сияқты бұл факторлар да бірнеше үлкен санаттарға немесе айнымалыларға топтастырылып, жинақталғанын ескеру маңызды. Бұл модельдер ұлттық немесе тіпті жаһандық энергетикалық жүйелерді көрсететін әртүрлі үлгілерді қамтиды.

Көбінесе жалпы тепе-теңдік үлгілері «жоғарыдан төменге» немесе «жоғарыдан төменге» сипатталады. Бұл модельдеу бүкіл экономикалық жүйені көрсету үшін жаһандық айнымалылар мен теңдеулердің салыстырмалы түрде шектеулі санын пайдаланады дегенді білдіреді. Өндірістік функцияларды құрайтын негізгі параметрлер әрбір сектор үшін мұқият есептелген, осылайша

олар берілген базалық тарихи жыл үшін экономикалық белсенділікті және ресурстарды бөлуді дәл көрсете алады.

Саясаттың әртүрлі сценарийлері әзірленген сайын, белгілі бір секторда өнім бірлігін жасау үшін қажетті ресурстар жиынтығы өзгеруі мүмкін. Бұл өзгерістер модельді пайдаланушының қандай ауыстыру икемділігін таңдағанына байланысты. Әдетте салалық өндірістік функциялардың стандартты тұжырымы бар, бірақ, әрине, нақты талаптар мен шарттарға байланысты бейімделуі және өзгертілуі мүмкін.

Салалық өндірістік функциялар әдетте нысанға ие болады:

$$X_s = A_0\left(B_K \cdot K_s^{\rho} + B_L \cdot L_S^{\rho} + B_E \cdot E_S^{\rho}\right)^{1/\rho} \qquad (1)$$

қайда $\boldsymbol{X_S}$ – сектор S шығарылымы,

$\boldsymbol{K_S}$, $\boldsymbol{L_S}$, және $\boldsymbol{E_S}$ – S секторында бір өнім бірлігін өндіруге қажетті капитал, еңбек және энергия шығындары,

ρ – алмастыру икемділік коэффициенті,

$\boldsymbol{A_0}$ және $\boldsymbol{B}$ - түзету коэффициенттері болып табылады.

Ауыстыру икемділік коэффициентін таңдау ρ өндірістің бір факторын екіншісімен ауыстырудың қарапайымдылығын немесе қиындығын анықтайды: ρ неғұрлым аз болса (бірақ 1-ден үлкен немесе оған тең), өндіріс факторларын өндіру үшін өндіріс факторларын ауыстыру оңайырақ болады. бірдей өнім көлемі. секторынан S. Сонымен қатар өндіріс факторларының өзара алмасу дәрежесі өндіріс факторлары арасында ерекшеленбейтінін атап өткен жөн – капиталдың еңбекті алмастыру жеңілдігі сол деңгейді сақтай отырып, капиталдың энергияны алмастыра алатын жеңілдігіне тең өндіріс. Жалпы тепе-теңдік модельдері өндірістік функцияның альтернативті формаларын да пайдалана алады, бірақ өндіріс факторларының айқын өзара алмасуының негізгі идеясын сақтайды.

«Төменнен-жоғары» модельдері

Спектрдің қарама-қарсы жағында терең егжей-тегжейлі және айқын технологиялық бейімділігі бар модельдер бар. Бұл модельдер ең алдымен экономиканың энергетикалық секторының аспектілеріне бағытталған. Оларда энергетика саласында қолданылатын әрбір негізгі технология оның құрамдас бөліктерінің, функционалдық сипаттамаларының, өзіндік құнының көрсеткіштерінің және басқа да көптеген техникалық-экономикалық көрсеткіштердің терең сипаттамасы арқылы ашылады. Көбінесе төменнен жоғары үлгілер деп аталатын мұндай модельдерде энергетика секторы олардың ресурстары мен өнімдері арқылы өзара байланысқан технологиялардың кең желісі болып табылады (бұл энергияның, материалдардың, атмосфераға

шығарындылардың әртүрлі нысандары немесе қосымша қызметтерге деген қажеттілік болуы мүмкін)).

Бұл төменнен жоғары қарай модельдердің кейбіреулері жалпы пайданы барынша арттыруға негізделген ішінара тепе-теңдікті қарастырады (тұтынушылардың да, өндірушілердің де мүдделерін ескере отырып), ал басқалары экономикалық қатысушылардың әртүрлі стратегиялары мен мінез-құлық механизмдерін қамтиды. Мұндай модельдерде белгілі бір саладағы әрбір жеке өнім бірлігі (мысалы, көліктер жүргізетін бір миллиард километр немесе үйдегі ауаны кондиционерлеуге жұмсалған орасан зор энергия) әртүрлі әдістермен қол жеткізілген нәтижелер негізінде қалыптасады. технологиялар. Бұл әрбір сектордағы өндірістік функциялардың жалпыланған үлгілерде тікелей анықтауға қарағанда жанама түрде анықталатынын білдіреді. Әрбір жеке саланың негізгі энергетикалық инфрақұрылымының күрделілігі мен күрделілігін ескере отырып, бұл жанама функциялар ерекше күрделі болуы мүмкін.

Гибридті модельдер

Жоғарыда аталған дихотомия шынымен де бұрынғы үлгілерді сипаттауда сәтті болды, уақыт өте келе осы салалардың әрқайсысындағы инновациялар мен әзірлемелерге байланысты бұл категориялар арасындағы шекаралар азырақ айқындала бастады. Соңғы бірнеше жылда жоғарыдан төмен модельдер бұрын оларға тән емес бөлшектерді көрсете бастады. Атап айтқанда, көптеген жалпы тепе-теңдік үлгілері қазір электр энергиясын өндіру немесе мұнай мен газ сияқты ресурстарды жеткізу сияқты негізгі энергетикалық секторлардағы отын мен процестер арасындағы егжей-тегжейлі бөлуді біріктіреді. Жиынтық үлгілердегі бұл өзгерістер олардың эволюциясын және энергетикалық сектордағы жағдайды тереңірек және егжей-тегжейлі талдауға деген ұмтылысты көрсетеді.

Екінші жағынан, «төменнен жоғарыға» принцип бойынша жұмыс істейтін бірнеше жетілдірілген модельдер бар. Олар бүкіл экономиканың энергетикалық секторға әсерінің салдарын түсіну үшін экономикалық жүйенің жоғарғы қабаттарына ұмтылады. Мысалы, TIMES моделі өндірілген тауарларға сұраныс сияқты түпкілікті тұтынуға сұраныстарды қалыптастырады. Бұл сұраныс тауар бағасының өзгеруіне жауап береді, бұл модельге энергия бағасының өзгеруі экономикалық өсуге және керісінше қалай әсер ететінін ескеруге мүмкіндік береді.

Бұл модельдердің екі категориясы арасындағы негізгі айырмашылықтарды атап өту маңызды. Толығырақ қарастырайық:

1. Жоғарыдан төмен модельдер ең алдымен жалпы макроэкономикалық аспектіге бағытталған. Бұл мұндай модельдер энергетикалық сектордың ерекше мүдделерінен тыс айнымалыларды қарастыратынын білдіреді. Мұндай айнымалылардың мысалдары жалақы деңгейі, жалпы тұтыну үрдістері және пайыздық мөлшерлемелер сияқты факторларды қамтиды, бірақ олармен шектелмейді. Олардың мақсаты – энергетикалық сектор жұмыс істейтін кең контекстті қамтамасыз ету.

2. Ал төменнен жоғары модельдер энергетикалық секторда бар технологиямен тереңірек айналысады. Олар бар технологиялардың егжей-тегжейлі бейнесін беріп қана қоймайды, сонымен қатар болашақ инновацияларды болжауға тырысады. Бұл модельдер саудадағы тауарлардың кең ауқымын есепке алу мүмкіндігіне де ие. Бұл үлгілердің тағы бір назар аударарлық ерекшелігі олардың кішірек, технологияға немесе өнімге қатысты саясаттарға бейімделу қабілеті болып табылады. Бұл оларды энергетикалық саясаттағы микродеңгейдегі үрдістерді талдау және болжау үшін өте пайдалы етеді.

Осылайша, модельдердің осы екі түрін таңдау көбінесе зерттеудің нақты мақсаттарына байланысты. Бір үлгінің екіншісінен жақсы екенін біржақты айту мүмкін емес; олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен шектеулері бар.

2.1.7. Сұраныс функцияларының анықтамасы

Есептеу әдісі эквиваленттік теоремаға негізделген:

«Сұраныс пен ұсыныстың экономикалық тепе-теңдігіне өндіруші мен тұтынушы профициті сомасы барынша ұлғайған кезде жетеді»

Есептеу әдісі экономикалық пайдаға жету үшін өндірушілер мен тұтынушылардың мүдделері тоғысатын оңтайлы нүктені табуға бағытталған. Бұл теореманың маңыздылығын бағаламау мүмкін емес, өйткені ол ресурстарды басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеуге және нарықта ұсынысты қалыптастыруға негіз болады.

Әрбір сұраныс категориясы үшін келесі сұраныс функциясы бар i:

$$DM_i/{DM_i}^0 = (p_i/p_i^0)^{E_i} \qquad (2)$$

немесе:

$$p_i = p_i^0 \cdot ({DM_i}/{DM_i}^0)^{1/E_i}$$

мұндағы «0» үстіңгі белгісі негізгі регистрді көрсетеді және Еі икемділігі теріс. Сондай-ақ, икемділіктің екі түрлі мәні болуы мүмкін екенін ескеріңіз: біреуі сұраныстың жоғары өзгерістері үшін, екіншісі төмендеу өзгерістері үшін.

2.1.8. TIMES тепе-теңдік тұжырымы

Сұраныс икемсіз болғанда (яғни таза шығындарды азайту) TIMES моделін келесі сызықтық бағдарлама ретінде жазуға болады:

$$Min\ c \cdot X \qquad (3)$$

при $\sum_k VAR_{ACT_{k,j}}(t) \geq DM_i(t) \quad i = 1,2, \ldots, I; t = 1, .., T$ (4)

и $B \cdot X \geq b$ (5)

қайда X — барлық TIMES айнымалыларының векторы, а I — сұраныс категорияларының саны.

Басқа сөзбен:

• (3) азайтуға жататын жалпы келтірілген құнды білдіреді;

• (4) — сұранысты қанағаттандыру шектеулерінің жиынтығы, мұнда VAR_ACT айнымалылары соңғы пайдалану технологиясының белсенділік деңгейлері және DM оң жақтары қанағаттандырылатын экзогендік талаптар болып табылады;

• (5) — барлық басқа TIMES шектеулерінің жиыны.

Сұраныс икемді болған кезде, TIMES оңтайландыру мәселесінде (3)–(5) сұраныс пен ұсыныстың тепе-теңдігін есептеуі керек, мұнда сұраныс жағы бағаның өзгеруіне бейімделеді және сұраныстың басым бағалары сұраныс категориясының шекті құнын көрсетеді.

2.1.9. Есептеу ойлары

Бағаның ауытқуымен өзгеруі мүмкін тұтынушылық сұраныстың әрбір спектрінде көптеген айнымалы мәндерді мұқият анықтау қажет. Сонымен қатар, осы айнымалылардың әрқайсысының белгіленген жоғарғы шегі бар, бірақ сонымен қатар ол жүйеге қосымша шектеулер енгізбейді.

Сызықтық бағдарламаны кеңейту кезінде ол жаңа айнымалыларды қосу арқылы артады. Дегенмен, бұл бағдарламадағы шектеулер саны жоғарғы шекараларды қоспағанда, бастапқы серпімді емес сызықтық бағдарламамен салыстырғанда өспейді. Заманауи сызықтық бағдарламалау бағдарламалық жасақтамасы контекстінде айнымалылардың жалпы саны есептеу уақытына дерлік әсер етпейтінін атап өту қызықты. Бұл айнымалы мәндердің шектері орнатылғанына қарамастан дұрыс.

Бұл ескертудің маңыздылығы әсіресе TIMES жүйесіндегі модельдеулерді қарастырған кезде айқын болады. Бұл жүйеге серпімділік талаптарын енгізу есептеу процесінің ұзақтығына немесе нәтижелі сызықтық бағдарламаны басқарудың күрделілігіне іс жүзінде әсер етпейді. Бұл әдетте TIMES ішінде көп аймақтық немесе жаһандық экономикаларды модельдеу кезінде пайда болатын сызықтық бағдарламалардың үлкен көлемін ескере отырып, әсіресе маңызды болады.

2.2. Қазақстандық TIMES моделінің сипаттамасы

Қазақстанның ішінара тепе-теңдік энергия жүйесінің техникалық-экономикалық негіздемесі, TIMES-KAZ, бастапқыда Германия халықаралық ынтымақтастық қоғамының (GIZ) «Қазақстанда және Орталық Азияда төмен көміртекті экономикалық даму үшін жасыл экономиканы қолдау» жобасының бөлігі ретінде әзірленді. Германияның климаттық бастамасы (IKI) шеңберінде Қоршаған ортаны қорғау, қорғау және ядролық қауіпсіздік федералды министрлігі (BMU) қаржыландырады.

TIMES-KAZ моделі БҰҰ IPCC классификациясына сәйкес жану секторлары үшін жасалған және барлық негізгі парниктік газдарды қамтиды: CO2, CH4, N2O.

TIMES-KAZ моделі пайдаланушының бірқатар шектеулерін қанағаттандыру үшін оңтайландырылған ең аз шығынды энергия жүйесін құру үшін орта және ұзақ мерзімді уақыт горизонттарында сызықтық бағдарламалауды қолданатын біртұтас төменнен жоғары технологиялық үлгі болып табылады. TIMES-KAZ моделі қолда бар технологиялар мен олардың шығындары туралы толық ақпаратпен Қазақстанның энергетикалық жүйесінің дамуын сипаттайды.

Модельдің күші парниктік газдар шығарындыларын азайту тұрғысынан қызығушылық тудыратын барлық жану секторларының технологиялық деңгейінде егжей-тегжейлі көрсету болып табылады. Дегенмен, модель жану секторларының экономиканың басқа секторларымен өзара әрекеттесуін ескермейтінін және сәйкесінше олармен салааралық өзара әрекеттесуді де есепке ала алмайтынын ескеру қажет.

2.2.1. TIMES-KAZ моделінің негізгі параметрлері

TIMES-KAZ моделінің базалық жылы – 2021 жыл.

Уақыт көкжиегі: жаңа TIMES үлгісі 2021 жылдан 2060 жылға дейінгі кезеңді қамтиды. Модель ең соңғы сала деректерін пайдалана отырып, «қайта калибрленген». Жел, күн, заманауи жылытқыштар, қоймалар және т.

Уақыт кесінділері:

Күнтізбелік жыл ішінде электр энергиясына сұраныстың ауытқуын егжей-тегжейлі қадағалау және барабар көрсету үшін, сондай-ақ ауыспалы жаңартылатын көздерден электр энергиясын өндіру динамикасын көрсету үшін жылды белгілі бір «уақыт сегменттеріне» бөлу маңызды. Бұл сегменттер, шын мәнінде, энергияны тұтыну және өндіру бойынша ұқсас сипаттамалары бар бөлек уақыт кезеңдері болып табылады.

Уақыт аралықтарына мұндай бөлуді пайдалану, мысалы, маусымдық заңдылықтарды, күндізгі және түнгі тұтынудың ең жоғары шегін және басқа факторларды ескере отырып, жылдың әртүрлі уақыттарында электр энергиясына сұраныстың қалай өзгеретіні туралы дәлірек түсінік береді. Бұл бөлім сонымен

қатар күн панельдері немесе жел турбиналары сияқты жаңартылатын технологиялардың сипатына байланысты энергия өндірудегі ауытқуларды ескереді, олардың өнімділігі ауа райы жағдайлары мен тәулік уақытына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін..

Осылайша, осы уақыт интервалдарын құру сұраныс динамикасын қадағалауға ғана емес, сонымен қатар электрмен жабдықтау жүйесін жаңартылатын энергияны өндірудің өзгермелі жағдайларына бейімдеуге, энергетикалық жүйенің неғұрлым тиімді және тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Үлгі өнімділігінің себептері бойынша, модель талап ететін шешу уақыты өте үлкен емес екеніне көз жеткізу үшін уақыт аралығының саны ақылға қонымды болуы керек.

TIMES-KZ уақыт аралықтарының анықтамасы келесідей:

Жыл мезгілдері:

Көктем

Жаз

Күз

Қыс

Күндіз/түн кесіндісі:

Түнгі кезең

Таңертең ерте кезең

Таңертеңгілік кезең

Күнделікті кезең

Түстен кейін

Кешкі кезең

Дисконт мөлшерлемесі: 5% жалпы дисконт мөлшерлемесі және 7% - 45% технологияға тән дисконт мөлшерлемесі (Scen_Hurdle_Rates.xls ішінде анықталған).

Модель келесі стандартты бірліктерді пайдаланады:

1. Модельдегі барлық ақшалай мәндер базалық жылдың тұрақты бағаларымен көрсетіледі. Ақша бірліктері – АҚШ доллары. Инвестициялық шығындар ГВт процестері үшін $/кВт-та және барлық басқа технологиялар үшін жылына $/ГДж-де көрсетіледі. Энергия шығындары $/ГДж-де көрсетілген. Инвестициялар мен шығындардың нәтижелері миллиондаған доллармен көрсетіледі.

2. Энергия петажульде (PJ) өрнектеледі. Бұл үлгідегі әдепкі қуат бірліктері. Модельдік нәтижелер есебінде (VEDA-BE) бірліктерді автоматты түрде өзгерту мүмкіндігі бар.

3. Қуат энергия, когенерация және жылу секторлары үшін гигаваттпен (ГВт) көрсетіледі және басқа процестер мен технологиялар үшін арнайы бірліктерде көрсетіледі. Бұл модельде масштабтау мәселелерін болдырмау және үлгі конвергенциясына көмектесу үшін қолданылатын әдепкі бірліктер. Шығаруды пайдаланушы қалаған бірліктерге түрлендіруге болады.

4. Энергетикалық қызметтерге қажеттілік: Көлік секторы үшін сұраныс жолаушы-километрмен (пкм) немесе тонна-километрмен (ткм) көрсетіледі; Егжей-тегжейлі үлгіленген нақты өнеркәсіп секторлары үшін (мысалы, цемент) талаптар физикалық өндірістің миллион тоннасымен (Мт) көрсетіледі (мысалы, өндірілген цементтің Мт).

5. Парниктік газдар шығарындылары мың тоннамен (ktCO2eq) көрсетілген.

Сұраныс секторлары

Эталондық энергетикалық жүйедегі сұраныс секторларын «энергия балансы шеңберінде басқа жерде анықталғандай отынды түрлендіретін немесе түрлендіретін қызмет болып табылмайтын қызмет үшін тұтынушыларға энергия ресурстарын жеткізу» ретінде анықтауға болады.

Модельге келесі сұраныс секторлары кіреді:

1) Қазақстандағы энергияны тұтыну негізінде өнеркәсіптің ішкі секторларына бөлінген:

▪ Шойын және болат

▪ Цемент өндіруге және басқа металл емес пайдалы қазбаларды өндіруге бөлінген металл емес пайдалы қазбалар

▪ Алюминий, мыс, қорғасын, мырыш, басқа да түсті металдарға бөлінген түсті металдар.

▪ Тамақ, сусын және темекі

▪ Химия және мұнай-химия өнеркәсібі тыңайтқыштар, мұнай-химия және басқаларға бөлінеді.

▪ Тау-кен өнеркәсібі

▪ Құрылыс индустриясы

▪ Басқа өнеркәсіп (елдегі барлық басқа өнеркәсіптік қызмет түрлері)

2) Елдің 4 типтік аймағында (2 * 4 = 8 тұрғын үй түрі) жеке үйлер (ДТА *) және пәтерлер (АРА *) болып бөлінген тұрғын үйлер.

3) Жеке және мемлекеттік қызметті қамтитын коммерциялық сектор. Қоғамдық (көше) жарықтандыру да коммерциялық секторға жатады.

4) Энергияны ауыл, орман және балық шаруашылығына пайдалануды қамтитын ауыл шаруашылығы.

5) Тасымалдау:

▪ Автомобиль көлігі

▪ Теміржол көлігі

▪ Халықаралық авиация

▪ Ішкі навигация

MODEL STATISTICS

COMMODITY COUNTS: 635

PROCESS COUNTS: 2304

USER CONSTRAINTS: 227

BLOCKS OF EQUATIONS: 105

SINGLE EQUATIONS: 102,410

BLOCKS OF VARIABLES: 16

SINGLE VARIABLES: 116,836

NON ZERO ELEMENTS: 1,159,134

2.2.2. TIMES- KAZ функциясының мақсаты

Барлық айнымалылары бар толық нысандағы модельдің мақсаттық функциясы күрделі математикалық өрнек болып табылады. Мұнда жалпы көрсеткіштері бар жеңілдетілген тұжырымда мақсаттық функцияны құрайтын шығындар элементтері, атап айтқанда:

Инвестициялық және бұзу жұмыстарын қамтитын күрделі шығындар бір реттік шығындар ретінде қарастырылмайды. Оның орнына олар жыл сайынғы төлемдердің дәйекті ағындарына айналады. Бұл төлемдер жоспарлау көкжиегінің әр жылы үшін мұқият есептеледі. Сонымен қатар, ұзақ мерзімді перспективаға келетін болсақ, ол көрсетілген көкжиектен асып түседі, демонтаждау және қайта өңдеуден түсетін ықтимал кіріс сияқты шығындар да ескеріледі. Бұл бүкіл процесс құжатта бұрын айтылған принциптер мен әдістемелерге сәйкес жүзеге асырылады. Бұл принциптер болашақ қаржылық міндеттемелердің ең дәл бейнесін алуға мүмкіндік беретін есептеулерге жүйелі және ашық көзқарасты қамтамасыз етеді.

Есептелген уақыт горизонтының соңында жұмыс істейтін барлық инвестициялық активтердің қалдық құны біржолғы қаржылық кіріс ретінде анықталады. Бұл кіріс жалпы шығындардан шегерілуге тиіс сома болып табылады. Бұл табыс көкжиек аяқталғаннан кейін бірден бір жыл ішінде алынады деп есептеледі. Бұл кіріс анықталғаннан кейін оның ағымдағы құны пайдаланушы базалық ретінде таңдаған жылға дисконттауды ескере отырып, қайта есептеледі. Осылайша, дисконттау болашақ әлеуетті табысты оның

ағымдағы эквивалентіне жеткізуге мүмкіндік береді, бұл бағалау процесін инвестор үшін дәлірек және түсінікті етеді.

Қалған шығындар төменде көрсетілген ANNCOST құру үшін жылдық күрделі шығындар төлемдеріне қосылады.

TIMES әртүрлі аймақтардың экономикалық көрсеткіштерін ескере отырып, олардың әрқайсысы үшін белгілі бір уақыт аралығындағы шығындардың таза келтірілген құнын есептеу арқылы есептейді. Бұл ақшаның уақытша құнын есепке алуға мүмкіндік беретін пайдаланушы анықтайтын базалық жылға дейін жылдық шығындарды дисконттау арқылы жүзеге асырылады. Осы қадамнан кейін аймақтық дисконтталған шығындар бір жалпы құнға біріктіріледі. Бұл жалпы құн, өз кезегінде, TIMES үлгісі үшін негізгі метрика немесе мақсатты функция ретінде қызмет етеді. Осы контексттегі модельдің негізгі міндеті қарастырылып отырған барлық аймақтар үшін ең үнемді сценарийді қамтамасыз ету үшін есептеулерде оңтайлы тепе-теңдікті іздеу кезінде осы мақсаттық функцияны барынша азайту болып табылады.

$$NPV = \sum_{r=1}^{R} \sum_{y \in YEARS} (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} \bullet ANNCOST(r, y) \qquad (6)$$

қайда:

NPV барлық аймақтар бойынша жалпы шығындардың таза келтірілген құны (TIMES мақсатты функциясы);

ANNCOST(r,y)r аймағындағы және y жылындағы жалпы жылдық шығындар;

$d_{r,y}$ жалпы дисконттау мөлшерлемесі;

REFYR дисконттау үшін базалық жыл;

YEARS горизонттағы барлық жылдарды және өткен жылдарды (бастау кезеңіне дейінгі) қоса алғанда, шығындары бар жылдар жиынтығы); және

R аймақтар жиыны.

TIMES-KAZ моделінің өзінде мақсат функциясының теңдеулері келесідей.

TIMES-KAZ моделінің жалпы мақсаттық қызметі.

EQ_OBJ.. - OBJZ + VAR_OBJ(KZK,OBJVAR,USD) + VAR_OBJ(KZK,OBJINV,USD) + VAR_OBJ(KZK,OBJFIX,USD) - VAR_OBJ(KZK,OBJSAL,USD) =E= 0 ; (LHS = 0)

Мақсатты функция элементі – тұрақты шығындар - Fixed Costs

EQ_OBJFIX(KZK,USD).. 6.07569206726745E-5*VAR_NCAP(KZK,2021,EVTRANS_H-H) + 6.07569206726745E-5*VAR_NCAP(KZK,2021,EVTRANS_H-HM) + 6.07569206726745E-5*VAR_NCAP(KZK,2021,EVTRANS_HM-ML) + 0.607569206726745*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-HETBIOLOG01) + 0.607569206726745*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-RSDLTHD00) + 0.607569206726745*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-TERLTHD00) + EPS*VAR_NCAP(KZK,2021,STRCOACOK00) + EPS*VAR_NCAP(KZK,2021,STRGASBFG00) + 9.53661711471776*VAR_NCAP(KZK,2021,STRBIOBGSN_ST01)

…

20.6165555744325*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_LOG_N_ST) + 10.8597706488323*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_LTH_N_IM) + 88.5384705886121*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM01) + 94.736163529815*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM02)

Мақсатты функция элементі – инвестициялық шығындар - Investment component

EQ_OBJINV(KZK,USD).. 22.7849224482728*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-AGRLTH00) + 5.69623061206819*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-INDHTH00) + 5.69623061206819*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-SUPHTH00) + 1.02469507659596*VAR_NCAP(KZK,2021,SPR_COABCO_EXTR)

…

+ 497.330117902351*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM01) + 532.143226155516*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM02) - VAR_OBJ(KZK,OBJINV,USD) =E= -170497.264005954 ; (LHS = 0, INFES = 170497.264005954 ****)

Мақсатты функция элементі – қалдық шығындар - Salvage

EQ_OBJSALV(KZK,USD).. 5.71077132478025*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-AGRLTH00) + 1.42769283119506*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-INDHTH00) + 1.42769283119506*VAR_NCAP(KZK,2021,FT-SUPHTH00) + 0.256827701448302*VAR_NCAP(KZK,2021,SPR_COABCO_EXTR)

…

+ 76.4838412346046*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_LTH_N_IM) +
289.887913627409*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM01) +
310.180067581327*VAR_NCAP(KZK,2025,TER_TS_WH_SOL_N_IM02) - VAR_OBJ(KZK,OBJSAL,USD) =E= 0 ; (LHS = 0)

Мақсатты функция элементі – айнымалы операциялық шығындар - Variable operating costs

EQ_OBJVAR(KZK,USD)..
0.1*VAR_ACT(KZK,2021,2021,DELIV_LTH_A1,RN) +
0.1*VAR_ACT(KZK,2021,2021,DELIV_LTH_A1,RL) +
0.1*VAR_ACT(KZK,2021,2021,DELIV_LTH_A1,RM) +
0.1*VAR_ACT(KZK,2021,2021,DELIV_LTH_A1,RD) +
0.1*VAR_ACT(KZK,2021,2021,DELIV_LTH_A1,RA)

…

+ 4.12331111488649E-6*VAR_ACT(KZK,2025,2025,Dum_TER_Retrofit,ANNUAL) - VAR_OBJ(KZK,OBJVAR,USD) =E= 0 ; (LHS = -8976.25130506263, INFES = 8976.25130506263 ****)

2.2.3. TIMES моделінің теңдеулері

TIMES моделі нақты қуат жүйесін дәл көрсететін теңдеулер немесе шектеулер жиынтығын орындай отырып, жалпы келтірілген мәнді азайтуға тырысады. Бұл шектеулер модельдеу үшін маңызды физикалық және логикалық қатынастардың көрінісі болып табылады. Олар модель арқылы жасалған шешімдердің негізділігі мен сенімділігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады.

TIMES үлгісінде шектеулердің бірнеше түрі бар. Олардың кейбіреулері нақты физикалық параметрлермен байланысты, ал басқалары жалпы логикалық принциптерді немесе жүйе құрамдас бөліктері арасындағы қатынастарды сипаттайды.

Дегенмен, егер енгізілген шектеулердің кем дегенде біреуі орындалмаса, онда барлық модельдеу нәтижесі жарамсыз болуы мүмкін екенін ескеру қажет. Модель барлық шектеулерді қанағаттандыра алмайтын бұл шарт әдетте кіріс деректеріндегі ақаулықты немесе шамадан тыс немесе дұрыс емес талаптың орнатылғанын көрсетеді. Бұл деректер қателерінен немесе жүйе талаптарын дұрыс түсінбеуден туындауы мүмкін.

TIMES-KAZ моделінің теңдеулері төменде келтірілген.

Процесс әрекетінің айнымалы мәндерін анықтау

TIMES — белсенділік айнымалыларын да, ағын айнымалыларын да тануға мүмкіндік беретін күрделі жүйе. Айнымалылардың осы екі түрі арасында түсінікті қалыптастыру үшін белгілі бір шектеу енгізіледі. Бұл шектеудің мәні VAR_ACT(r,v,t,p,s) жалпы белсенділік айнымалысын VAR_FLO(r,v,t,p,c,s) ағынының айнымалы мәндеріндегі сәйкес аналогына теңестіру және осылайша салмақтар дұрыс орнатылған.

Бұл интеграция әрекетті және іс жүзінде сәйкес процестің күшін көрсететін тауарлардың негізгі жиынтығын анықтаудан басталады. Бізде бір тауарды тұтыну және басқасын өндіру арқылы қарапайым процесс болған жағдайда, модельді пайдаланушы белсенділікті орнату үшін ағындардың бірін оңай таңдай алады және осылайша ол кіріс немесе шығыс болсын, бүкіл процесті қалыпқа келтіре алады. .

Дегенмен, кіріс немесе шығыс деректері ретінде процеске қатысатын көптеген әртүрлі тауарлар, мүмкін әртүрлі санаттар бар күрделі процестерге келетін болсақ, тапсырма қиындай түседі. Осы контекстте модельдеуші алдымен қандай негізгі өнім тобы (pcg) белсенділікті анықтау үшін анықтамалық нүкте ретінде қызмет ететінін анықтауы керек. Бұл топқа, мысалы, әртүрлі энергия көздері, материалдардың белгілі бір түрлері немесе тіпті парниктік газдар шығарындылары кіруі мүмкін..

Осы анықтамалық өнім тобын таңдағаннан кейін үлгілеуші үшін келесі қадам таңдалған топқа жататын кіріс ағындары немесе шығыс ағындары арқылы әрекетті анықтау жақсырақ екенін шешу болып табылады. Нәтижесінде концептуалды деңгейде бұл осы айнымалылар арасында белгілі бір қатынастардың қалыптасуына әкеледі. Төменде белсенділік теңдеуі берілген.

EQ_ACTFLO(r,v,t,p,s) – Activity definition

VAR_ACT(r,v,t,p,s) = **SUM{***c in pcg of* ***VAR_FLO(r,v,t,p,c,s)*** */ ACTFLO(r,v p,c)***}**

(7)

қайда *ACTFLO(r,v,p,c)* процестің белсенділігінен белгілі бір өнімнің ағынына дейінгі конверсия жылдамдығы (көбінесе біреуге тең).

Қазақстан моделіндегі бұл теңдеу төмендегідей.

```
EQ_ACTFLO(KZK,2021,2021,EUPV00,RM)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EUPV00,RM) -
        VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUPV00,ELCMLO,RM) -
        VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUPV00,ELCSPP,RM) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQ_ACTFLO(KZK,2021,2021,EUPV00,RD)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EUPV00,RD) -
```

```
        VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUPV00,ELCMLO,RD) -
        VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUPV00,ELCSPP,RD) =E= 0 ; (LHS = 0)
```

Процестердің белсенділігін шектеу теңдеуі.

```
EQG_ACTBND(KZK,2021,EXPELCR1,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WE) =G= 19.4497794 ;

   EQG_ACTBND(KZK,2021,EXPGASNAT_R1_E01,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,R) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,S) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,F) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,W) =G=
        509.66837496 ;

EQL_ACTBND(KZK,2021,EXPELCR1,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SL) +
```

```
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SM) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SD) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,SE) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FN) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FL) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FM) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FD) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,FE) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WN) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WL) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WM) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WD) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,WE) =L= 20.473452 ; (LHS =
0)

EQL_ACTBND(KZK,2021,EXPGASNAT_R1_E01,ANNUAL)..
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,R) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,S) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,F) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPGASNAT_R1_E01,W) =L= 630 ;
(LHS = 0)
```

Сыйымдылықты пайдалану

Уақыттың әртүрлі кезеңдерінде белгілі бір модель сәйкес технологияның қолжетімділік коэффициентіне негізделген орнатылған қуаттың бір бөлігін немесе тіпті барлығын пайдалану туралы шешім қабылдауы мүмкін. Белгілі бір параметрлер мен шарттарға сүйене отырып, модель кейбір уақыт аралықтарында немесе тіпті бір, екі немесе одан да көп толық кезеңдерде барлық қол жетімді қуатты пайдаланбау туралы шешім қабылдауы мүмкін екенін түсіну маңызды. Мұндай шешім негізгі мақсатқа жетуге бағытталады: жалпы шығындарды азайту. Модельді жасаушылар қажет деп тапса, олар жеке технологиялар өздерінің максималды мүмкіндіктерін пайдалануын қамтамасыз ету үшін параметрлерді орната алады.

Сонымен қатар, мыналарды атап өткен жөн: әрбір технология үшін p, белгілі бір уақыт кезеңі t, шығарылым жылы v, белгілі бір аймақ r және уақыт аралығы s, бұл технологияның белсенділігі оның қол жетімді мүмкіндігінде сақталуы керек. Бұл шекаралар пайдаланушы немесе әзірлеуші орнатқан қол жетімділік факторы арқылы анықталады.

EQ_CAPACT (r,v,t,p,s) - Use of capacity

VAR_ACT (r,v,t,p,s) ≤ or =

*AF(r,v,t,p,s)**
*PRC_CAPACT(r,p))*FR(r,s)***VAR_CAP(r,v,t,p)***

(8)

Мұнда PRC_CAPACT(r,p) – қуат пен белсенділік бірліктері арасындағы түрлендіру коэффициенті (электр станцияларын қоспағанда, көбінесе 1-ге тең). FR(r,s) параметрі s уақыт аралығының (бөлшек) ұзақтығына тең. AF қол жетімділік факторы шектеудің сипатын теңсіздік немесе теңдік ретінде көрсету үшін де қызмет етеді. Соңғы жағдайда қуат толығымен пайдаланылуы керек. «Айнымалы» CAP(r,v,t,p) TIMES ішінде анық анықталмағанын ескеріңіз. Оның орнына ол VAR_NCAP(r,v,p) инвестициялық айнымалысының әлі де белсенді бұрынғы инвестициялар сомасының бөлігімен (1-ден кем немесе тең) ауыстырылады.

TIMES-KAZ моделінде қуатты пайдалану теңдеуі келесідей.

```
EQL_CAPACT(KZK,2021,2021,AGRMACOILDSL_E00,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRMACOILDSL_E00,ANNUAL) =L=
        4.61459692367999 ; (LHS = 0)

EQL_CAPACT(KZK,2021,2021,AGRSTA_E00,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTA_E00,ANNUAL) =L=
        58.821032724 ; (LHS = 0)

EQE_CAPACT(KZK,2020,2021,TER_BU_TP,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2020,2021,TER_BU_TP,ANNUAL) =E= 45000 ;

EQE_CAPACT(KZK,2020,2021,TER_BU_TS,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2020,2021,TER_BU_TS,ANNUAL) =E= 55000 ;
        (LHS = 0, INFES = 55000 ****)

EQG_CAPACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FD) +
```

VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FE) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WN) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WL) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WM) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WD) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WE) =G=
2.071293696 ;

EQG_CAPACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTBIOLOG_E00,ANNUAL)..
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTBIOLOG_E00,ANNUAL) =G=
0.0071832 ;

Тауар балансының теңдеуі

Әрбір кезеңде және уақыт аралығында басқа аймақтардан әкелінетін тауарлардың санына қосылған белгілі бір аймақтағы өндіріс процесі сол аймақтың ішінде қанағаттандырылатын немесе сыртқы аймақтарға экспортталатын жалпы көлемге дәл сәйкес келуі керек. TIMES бағдарламалық өнімінде ерекше теңгерім шегі бар, ол (≥) немесе (=) мәнінен үлкен немесе тең болуы мүмкін. Бұл шектеуді басқару модельді пайдаланушыға жүктеледі, ол оны әрбір нақты өніммен байланысты белгілі бір параметр арқылы орната алады.

Материалдар үшін стандартты шектеу әдетте тең болып белгіленеді, бұл өндірілген және импортталған тауарлардың көлемі тұтынылатын немесе экспортталатын мөлшерге қатаң сәйкес келуі керек дегенді білдіреді. Екінші жағынан, энергия ресурстары, шығарындылар және жалпы сұраныс үшін стандартты шек көбінесе артық өндіру мүмкіндігіне мүмкіндік беретін теңсіздік ретінде белгіленеді.

Белгілі бір уақыт шеңберлері немесе аралықтары бар тауарларға келетін болсақ, бұл теңгерім немесе шектеу әрбір белгіленген уақыт кезеңінде қолданылуы керек. Бұл бүкіл уақыт бойы сұраныс пен ұсыныс арасындағы тұрақты сәйкестік пен теңгерімді қамтамасыз етеді..

Баланс теңдеуі күрделі болып көрінуі мүмкін, әсіресе белгілі бір тауарды өндіру немесе тұтыну параметрлері сияқты көптеген шарттарды қарастырғанда. Бұл шарттар нарықтық тепе-теңдікті анықтайтын айнымалылар мен шектеулер жиынтығын құрайды. Мысалы, c деп белгіленген белгілі бір элементті қарастырайық. Бұл өнім үшін t немесе винтаж v уақыт кезеңіне, сондай-ақ белгілі бір r аймағына және қажет болған жағдайда s уақыт аралығына (немесе басқа интервалдар көрсетілмесе, ол жылдық интервал болуы мүмкін) байланысты бізде белгілі бір шектеу. Бұл шектеу әрбір тауар үшін бұл тауардың қалай бөлінетіні мен оны сатып алудың арасында тепе-теңдік болуы керек екенін айтады. Бөлу арқылы біз белгілі бір тауардың аймақтағы жалпы тұтынуын және сол тауардың қанша бөлігі одан тыс экспортталғанын түсінеміз. Сатып алу деп осы аймақтағы осы өнімді өндірудің жалпы көлемін және осы өнімді басқа аймақтардан

импорттауды түсінеді. Осылайша, тепе-теңдік шектеуі тауарға сұраныс пен ұсыныстың тепе-теңдікте болуын қамтамасыз етуге тырысады.

[Sum *{over all* ***p,c*** *∈TOP(r,p,c,"out")of:*
[*VAR_FLO(r,v,t,p,c,s)* + *VAR_SOUT(r,v,t,p,c,s)**STG_EFF(r,v,p)*] *}* +**

Sum *{over all* ***p,c*** *∈RPC_IRE(r,p,c,"imp") of*
:VAR_IRE(r,t,p,c,s,"imp")}+

Sum *{over all* ***p*** *of: Release(r,t,p,c)****VAR_NCAP(r,t,p,c)}]* ***** *COM_IE(r,t,c,s)*

≥ or = **(9)**

Sum *{over all* ***p,c*** *∈* ***TOP(r,p,c,"in")*** *of:* ***VAR_FLO(r,v,t,p,c,s)*** **+** ***VAR_SIN(r,v,t,p,c,s)****}* **+**

Sum {*over all* ***p,c∈ RPC_IRE(r,p,c,"exp")****} of:*

VAR_IRE(r,t,p,c,s,'exp") **+**

Sum *{over all* ***p*** *of: Sink(r,t,p,c)****VAR_NCAP(r,t,p,c)****}* +

FR(c,s) ****VAR_DEM(c,t)***

қайда:

Шектеу ≥ энергия ресурстары үшін және = материалдар мен шығарындылар үшін;

TOP(r,p,c,"in/out") c өнімінің r аймағында p процесіне/процессіне енгізу/шығару ағыны бар екенін анықтайды;

RPC_IRE(r,p,c,"imp/exp") p процесі арқылы c өнімінің r аймағына/аймағына импорт/экспорт ағынының бар екенін анықтайды;

STG_EFF(r,v,p) – сақтау процесінің тиімділігі p;

COM_IE(r,t,c) c тауарының инфрақұрылымдық тиімділігі;

Release(r,t,p,c) — бөлшектелген процестің бір қуаттылығынан алынатын с тауарының мөлшері p (объектіні бөлшектеген кезде алынатын кейбір материалды немесе отынды көрсету үшін пайдалы);

Sink(r,t,p,c) — жаңа технологиялық қуат бірлігіне қажет с жақсы с мөлшері p (объектіні салу үшін пайдаланылатын кейбір материалдар немесе отынды көрсету үшін пайдалы);

FR(лар) – уақыт аралықтарымен қамтылған жыл бөлігі (уақыт аралығы жоқ элементтер үшін 1-ге тең).

TIMES-KAZ үлгісінде ол келесідей көрсетілген.

```
EQG_COMBAL(KZK,2021,AGRBIOBGS,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,FT-AGRBIOBGS00,ANNUAL) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,RE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,SE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,FE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOBGS,WE,IMP) =G= 0
        ; (LHS = 0)

EQG_COMBAL(KZK,2021,AGRBIOLOG,ANNUAL)..  -
        2*VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTBIOLOG_E00,ANNUAL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,FT-AGRBIOLOG00,ANNUAL) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RM,IMP) +
```

```
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,RE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,SE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,FE,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WN,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WL,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WM,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WD,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WA,IMP) +
        VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRBIOLOG,WE,IMP) =G= 0
        ; (LHS = 0)

EQE_COMPRD(KZK,2021,AGRSTHT,ANNUAL)..
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,RE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,SE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FM) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FD) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FA) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,FE) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WN) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WL) +
        VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WM) +
```

```
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WD) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WA) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,AGRSTHTAGRLTH_E00,WE) +
VAR_COMPRD(KZK,2021,AGRSTHT,ANNUAL) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RN,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RL,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RM,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RD,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RA,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,RE,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SN,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SL,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SM,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SD,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SA,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,SE,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FN,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FL,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FM,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FD,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FA,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,FE,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WN,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WL,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WM,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WD,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WA,IMP) +
VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,AGRSTHT,WE,IMP) =E= 0 ;
(LHS = 0)
```

Қуатты тасымалдау теңдеуі (инвестицияны үнемдеу)

Берілген технологияға салынған инвестициялар оның өмірлік циклі бойына оның тиімділігі мен орнатылған қуаттылығын арттыруға ықпал етеді. Бұл технологияға инвестиция салған сайын оның әлеуеті мен өнімділігі артады және бұл өсу технология өзінің физикалық өмірінің соңына жеткенше жалғасады дегенді білдіреді. Алайда, бұл кезең аяқталған кезде технологияның жалпы өнімділігі немесе қуаты бастапқы инвестиция көлеміне пропорционалды түрде төмендейді.

Белгілі бір уақытта технологияның қол жетімді сыйымдылығы қандай болатынын бағалауға тырысқанда, пайдаланылатын модель барлық өткен инвестициялар арқылы қол жеткізілген жалпы қуатты ескереді. Бұл инвестициялардың кейбіреулері қарастырылып отырған уақыт кезеңі басталғанға дейін жасалған болуы мүмкін, бірақ олардың әсері әлі де өзекті және қалдық технологиялық қуат түрінде сезіледі. Сонымен қатар, модель бастапқы

кезеңде немесе ол басталғаннан кейін қарастырылған және қазіргі уақытқа дейінгі кезеңге әсер ететін инвестицияларды ескереді.

Егер t уақытындағы r аймағындағы p технологиясының жалпы сыйымдылығын анықтауға тырысатын болсақ, онда бұл әлі аяқталмаған осы нүктеге дейін жасалған барлық инвестицияларды және болжам аяқталғанға дейін қалған қуаттылықты есептеуге тең болады. Дегенмен, есептеулердің қиындығы, пайдаланылған TIMES моделінің уақыт аралықтарының ұзақтығы әртүрлі болуы мүмкін деп болжайтынында. Бұл белгілі бір инвестициялардың мерзімінің аяқталуы болашақ уақыт аралығының ортасына түсуі мүмкін.

EQ_CPT(r,t,p) - Capacity transfer

VAR_CAPT(r,t,p) = ***Sum****{over all periods t' preceding or equal to t such that t-t'<LIFE(r,t',p) of* ***VAR_NCAP(r,t',p)****}* + *RESID(r,t,p)*
(10)

қайда RESID(r,t,p) — (экзогендік қамтамасыз етілген) технология қуаты p модельдің бастапқы кезеңіне дейін жасалған және t уақытында r аймағында әлі де бар инвестициялар есебінен.

TIMES-KAZ моделінде теңдеу келесідей.

EQE_CPT(KZK,2021,HPPGASNAT00)..
VAR_CAP(KZK,2021,HPPGASNAT00) =E= 13.2550136986301 ; (LHS = 13.2550136986301)

EQE_CPT(KZK,2021,INDCHPAUT_00)..
VAR_CAP(KZK,2021,INDCHPAUT_00) =E= 2.304 ; (LHS = 2.304)

Бөлшектердің ағынының теңдеуі

EQG_FLOFR(KZK,2021,RSD_APA1_AP_E01,RSD_APA1_AP,RN,UP).. -
VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RN) +
EPS*VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RL) +
EPS*VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RM) +
EPS*VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RD) +
EPS*VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RA) +
EPS*VAR_ACT(KZK,2021,2021,RSD_APA1_AP_E01,RE) =G= 0 ; (LHS = 0)

Тауарлардың кіріс ағындарының үлестерінің теңдеуі

EQG_INSHR(KZK,2021,2021,FT-AGROILDSL00,BIODSL,FT-AGROILDSL00_NRGI,ANNUAL).. - VAR_FLO(KZK,2021,2021,FT-AGROILDSL00,BIODSL,ANNUAL) =G= 0 ; (LHS = 0)

EQG_INSHR(KZK,2021,2021,FT-AGROILGSL00,BIOETH,FT-AGROILGSL00_NRGI,ANNUAL).. - VAR_FLO(KZK,2021,2021,FT-AGROILGSL00,BIOETH,ANNUAL) =G= 0 ; (LHS = 0)

EQE_INSHR(KZK,2021,2021,INDDEMCONE_00,INDBIOBGS,INDDEMCONE_00_NRGI,RN).. - VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDDEMCONE_00,INDBIOBGS,RN) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_INSHR(KZK,2021,2021,INDDEMCONE_00,INDBIOBGS,INDDEMCONE_00_NRGI,RL).. - VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDDEMCONE_00,INDBIOBGS,RL) =E= 0 ; (LHS = 0)

Тауарлардың шығыс ағындарының үлестерінің теңдеуі

EQG_OUTSHR(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDCONHTH,INDHTHALC_00_NRGO,R).. - 0.97*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDCONHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDFBTHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDISTHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDMIQHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDNFMHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDNMMHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDOTHHTH,R) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDPCHHTH,R) =G= 0 ; (LHS = 0)

EQG_OUTSHR(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDCONHTH,INDHTHALC_00_NRGO,S).. - 0.97*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDCONHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDFBTHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDISTHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDMIQHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDNFMHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDNMMHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDOTHHTH,S) + 0.03*VAR_FLO(KZK,2021,2021,INDHTHALC_00,INDPCHHTH,S) =G= 0 ; (LHS = 0)

EQE_OUTSHR(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCLOSST,EVTRANS_H-H_NRGO,RN).. 0.021*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCHIG5,RN) - 0.979*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCLOSST,RN) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_OUTSHR(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCLOSST,EVTRANS_H-H_NRGO,RL).. 0.021*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCHIG5,RL) - 0.979*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCLOSST,RL) =E= 0 ; (LHS = 0)

Тауарлы-материалдық қорларды шектеу теңдеуі (тек уақыт аралығы бар тауарлар)

Әрбір нақты уақыт кезеңінде және әрбір географиялық аймақта тауарларды шығаруға қатысатын барлық процестердің жалпы өндірістік қуаттары сұраныстың орташа деңгейін қанағаттандырып қана қоймай, сонымен бірге асуы керек деп болжанады. Ең үлкен сұраныс (шың) болатын нүкте туралы айтатын болсақ, бұл артық сыйымдылық сұраныстың орташа деңгейіне пайызбен өлшенеді. COM_PKRSV(r,t,c,s) ретінде белгіленген ең жоғары резервтік коэффициент ретінде анықтайтын бұл пайыз кездейсоқ таңдалмаған. Ол әртүрлі күтпеген жағдайлар кезінде қауіпсіздік пен тұрақтылықты қамтамасыз етуге қызмет етеді.

Осы жағдайлардың ішінде, мысалы, су қоймаларындағы су деңгейінің ауытқуына байланысты болуы мүмкін жеткізудегі тұрақсыздықтан туындайтын тауарлардың ықтимал тапшылығын бөліп көрсетуге болады. Бұдан басқа, жабдықтың жұмысындағы күтпеген апаттарды немесе тоқтап қалуды, сондай-ақ өнімге нақты сұраныс кенеттен және ең жоғары аралықтарда орташа мәннен айтарлықтай асып түсетін сәттерді ескерген жөн. Осылайша, бұл маржа факторы модельдеу кезінде ескерілмеген оқиғалардың жағымсыз салдарына қарсы қауіпсіз «қауіпсіздік шегі» ретінде әрекет етеді.

Оны іс жүзінде қолдану үшін: қыс айларында электр қуатын немесе табиғи газды тұтыну шарықтау шегіне жеткен суық елді елестетіңіз. Мұндай жағдайларда, мысалы, электр станциясының немесе газбен жабдықтаушы компанияның жалпы өндіру қуаты қыста өскен сұранысты қанағаттандыруға жеткілікті және сенімді маржамен есептелуі керек. Егер бұл жылы ел болса, электр энергиясын тұтынудың ең жоғары шегі аптап ыстықтан ауаны кондиционерлеуге сұраныс артқан жаз мезгілімен байланысты болуы мүмкін. Бұл пайдаланушыларға олардың аймағының ерекшеліктеріне және қажеттіліктеріне байланысты қай уақыт аралығын шың деп анықтайтынына байланысты.

Кез келген берілген уақыт t үшін, сондай-ақ белгілі бір аймақ үшін r, сұраныстың ең жоғары сәттерінде де қажеттіліктерді қанағаттандыру үшін жеткілікті болатын орнатылған қуаттылыққа ие болу қажет. Өнімге немесе қызметке сұраныстың ең жоғары кезеңдерінде с орнатылған қуат қажеттіліктерді қанағаттандырып қана қоймай, олардан асып кетуі керек екенін түсіну маңызды. Бұл артық Е қауіпсіздік коэффициентімен анықталады. Бұл фактор ең жоғары резервтік коэффициент деп аталады және тіпті ең жоғары сұраныс жағдайында қуат талаптарын қанағаттандыру кепілі ретінде қызмет етеді.

EQ_PEAK(r,t,c,s) - Commodity peak requirement

Sum *{over all* ***p*** *producing* ***c with c=pcg*** *of PRC_CAPACT(r,p)* *******
Peak(r,v,p,c,s) ****** *FR(s)* ****VAR_CAP(r,v,t,p) * VAR_ACTFLO(r,v,p,c)*** *}* **+**

Sum *{over all* ***p*** *producing* ***c*** *with* ***c≠pcg*** *of*

NCAP_PKCNT(r,v,p,c,s) ***VAR_FLO(r,v,t,p,c,s)}***
+***VAR_IRE(r,t,p,c,s,i)***

$$\geq \qquad \textbf{(11)}$$

*[1+ COM_PKRSV(r,t,c,s)] * [* ***Sum*** *{over all* ***p consuming c*** *of*
VAR_FLO(r,v,t,p,c,s) +VAR_IRE(r,t,p,c,s,e)} *]*

қайда:

COM_PKRSV(r,t,c,s) — Жабдықтың күтпеген тоқтап қалуын, ең жоғары сұранысты және ресурстардың белгісіз болуын есепке алатын уақыт аралығы ішінде с тауарының аймаққа тән резервтік коэффициенті және

NCAP_PKCNT(r,v,p,c,s) t кезеңіндегі r аймағындағы p технологиясының сыйымдылығының және s кесіндісіндегі ең жоғары сұранысқа ықпал етуге рұқсат етілген с тауарының (тек электр немесе жылу энергиясы) үлесін анықтайды; жабдықтау процестерінің көптеген түрлері ең жоғары уақыттарда болжамды түрде қол жетімді және осылайша 1 шыңы коэффициентіне ие болады, ал басқаларына (мысалы, жел турбиналары немесе электр энергиясы жағдайында күн қондырғылары) 1-ден аз шыңы коэффициенті тағайындалады, өйткені олар орташа мәнді қамтиды. шыңында ішінара ғана қол жетімді (мысалы, жел турбинасында әдетте 0,25 немесе 0,3 пик коэффициенті болады, ал су, газ немесе атом электр станциясында әдетте 1 шыңы коэффициенті болады).

TIMES-KAZ үлгісінде оның келесі формасы бар.

```
EQ_PEAK(KZK,2021,ELCHIGG,RN)..  -
    VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RN) +
    0.943396226415094*VAR_ACT(KZK,2021,2021,IMPELCR1,RN) +
    0.943396226415094*VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,ELCHIGG,RN,I
    MP) + EPS*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUWIND00,ELCHIGG,RN) -
    VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCHIGG,RN) +
    0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOABCO100,ELCHIG
    G,RN) +
    0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOABIC100,ELCHIGG,
    RN) +
    0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOASUB100,ELCHIGG
    ,RN)+
    0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUGASNAT100,ELCHIGG
    ,RN) + 1.03584905660377*VAR_NCAP(KZK,2021,EUCOASUB100) +
    1.03584905660377*VAR_NCAP(KZK,2021,EUGASNAT100) +
    1.03584905660377*VAR_NCAP(KZK,2021,EUHYDSR100) =G= -
    16.7745396226415 ; (LHS = 0)

EQ_PEAK(KZK,2021,ELCHIGG,RL)..  -
    VAR_ACT(KZK,2021,2021,EXPELCR1,RL) +
```

0.943396226415094*VAR_ACT(KZK,2021,2021,IMPELCR1,RL) +
0.943396226415094*VAR_IRE(KZK,2021,2021,IMPNRGZ,ELCHIGG,RL,IMP) + EPS*VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUWIND00,ELCHIGG,RL) -
VAR_FLO(KZK,2021,2021,EVTRANS_H-H,ELCHIGG,RL) +
0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOABCO100,ELCHIGG,RL) +
0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOABIC100,ELCHIGG,RL) +
0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUCOASUB100,ELCHIGG,RL) +
0.943396226415094*VAR_FLO(KZK,2021,2021,PUGASNAT100,ELCHIGG,RL) + 0.621509433962264*VAR_NCAP(KZK,2021,EUCOASUB100) +
0.621509433962264*VAR_NCAP(KZK,2021,EUGASNAT100) +
0.621509433962264*VAR_NCAP(KZK,2021,EUHYDSR100) =G= -10.0647237735849 ; (LHS = 0)

Сақтау теңдеуі

EQ_STGTSS(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RN)..
VAR_ACT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RN) -
VAR_ACT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RE) -
VAR_SIN(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,TRAELC,RE) +
VAR_SOUT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,TRABATS,RE)
=E= 0 ; (LHS = 0)

EQ_STGTSS(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RL).. -
VAR_ACT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RN) +
VAR_ACT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,RL) -
VAR_SIN(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,TRAELC,RN) +
VAR_SOUT(KZK,2021,2021,BAT_TRARPPC_E01,TRABATS,RN)
=E= 0 ; (LHS = 0)

2.2.4. TIMES моделінің сценарий шарттары

TIMES әдетте ескеретін негізгі шектеулерден басқа, әдетте пайдаланушы анықтайтын шектеулер (UC) деп аталатын арнайы, пайдаланушы конфигурациялайтын шектеулерді жасау мүмкіндігі бар. Бұл UC пайдаланушы маңызды деп санайтын жеке сипаттамалар мен талаптарды ескеруге мүмкіндік береді. Әрбір осындай теңшелетін шектеудің белгілі бір белгіленген ережелерге бағынатын өз коэффициенттері болады.

Соңғы TIMES коды жаңартуларымен пайдаланушыны шектеу мүмкіндіктері бұрынғыдан да икемді болды. Енді пайдаланушы TIMES ішінде бар дерлік кез келген айнымалыны біріктіре алады. Мысал ретінде жобалануына қарамастан жаңа электр станцияларына инвестиция салуға шектеу қоятын

немесе жаңа қуат өндіру қуатының белгілі бір бөлігі жаңартылатын көздерден алынуын талап ететін пайдаланушы шектеуі болуы мүмкін.

Бұл реттелетін шектеулер әртүрлі уақыт шеңберлері үшін қолданылуы мүмкін. Мысалы, олар бар жабдықты жаңарту немесе қызмет ету мерзімін ұзарту үшін балама сценарийлерді модельдеуге көмектесе алады. UC көбінесе тауарлардың, ағындардың, технологиялардың немесе тіпті бизнестің бүкіл бағыттарының жалпы санын уақыт өте келе бақылау үшін қолданылады. Және TIMES кодының соңғы жаңартуларының арқасында бұл шектеулер әлдеқайда дербес және таңдалған уақыт көкжиегіне байланысты тұрақты түзетулерді қажет етпейді.

Бұған қоса, осындай теңшелетін шектеулерді жасау процесін жеңілірек және түсінікті ету үшін TIMES ыңғайлы үлгіні ұсынады. Оның көмегімен сіз қандай айнымалылар шектеуге қатысатынын және осы шектеудің тиімді жұмыс істеуі үшін қандай коэффициенттерді орнату қажет екенін оңай көрсете аласыз.

TIMES-KAZ моделіндегі пайдаланушы шектеулерінің теңдеуі.

EQE_UCRT(UELE_GAS_CHPRTRF,KZK,2022)..
VAR_CAP(KZK,2022,PUGASNAT100) -
VAR_UCRT(UELE_GAS_CHPRTRF,KZK,2022) =E= 0 ; (LHS = 1.536, INFES = 1.536 ****)

EQE_UCRT(UELE_GAS_CHPRTRF,KZK,2025)..
VAR_CAP(KZK,2025,PUGASNAT100) -
VAR_UCRT(UELE_GAS_CHPRTRF,KZK,2025) =E= 0 ;

EQE_UCTS(LTRA__Share_ELC_Cars,2022,ANNUAL)..
2.2*VAR_ACT(KZK,2022,2022,TRARPPC_ELC_E01,ANNUAL) +
2.2*VAR_ACT(KZK,2022,2022,TRARPPC_ELC_N01,ANNUAL) +
2.2*VAR_ACT(KZK,2022,2022,TRARPPC_ELC_S01,ANNUAL) -
0.000140429798607381*VAR_COMPRD(KZK,2022,TRARPPC,ANNUAL) -
VAR_UCTS(LTRA__Share_ELC_Cars,2022,ANNUAL) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_UCTS(LTRA__Share_ELC_Cars,2025,ANNUAL)..
2.2*VAR_ACT(KZK,2025,2025,TRARPPC_ELC_E01,ANNUAL) +
2.2*VAR_ACT(KZK,2025,2025,TRARPPC_ELC_N_IM,ANNUAL) +
2.2*VAR_ACT(KZK,2025,2025,TRARPPC_ELC_N01,ANNUAL) +
2.2*VAR_ACT(KZK,2025,2025,TRARPPC_ELC_S_IM,ANNUAL+
2.2*VAR_ACT(KZK,2025,2025,TRARPPC_ELC_S01,ANNUAL) -
0.000148981973342571*VAR_COMPRD(KZK,2025,TRARPPC,ANNUAL) -
VAR_UCTS(LTRA__Share_ELC_Cars,2025,ANNUAL) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_UCRTS(UC_AGRPV_AND_BAT,KZK,2025,ANNUAL).. -
0.2*VAR_CAP(KZK,2025,EUPVSOLAGR102) +
VAR_CAP(KZK,2025,STGAGRELC) -
VAR_UCRTS(UC_AGRPV_AND_BAT,KZK,2025,ANNUAL) =E= 0 ;

EQE_UCRTS(UC_CAP_HP,KZK,2022,ANNUAL).. VAR_NCAP(KZK,2022,HPPHETCOASUB_N_ST_01) + VAR_NCAP(KZK,2022,HPPHETGASNAT_N_ST_01) - VAR_UCRTS(UC_CAP_HP,KZK,2022,ANNUAL) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_ACTEFF(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,NRG,IN,RN).. - 3.2258064516129*VAR_ACT(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,RN) + VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,ELECOASUB,RN) =E= 0 ; (LHS = 0)

EQE_ACTEFF(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,NRG,IN,RL).. - 3.2258064516129*VAR_ACT(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,RL) + VAR_FLO(KZK,2021,2021,EUCOASUB100,ELECOASUB,RL) =E= 0 ; (LHS = 0)

2.2.5. Климаттық параметрлер

Энергетикалық жүйе моделінің парниктік газдар шығарындыларын есептеу мүмкіндігі бар. Қазіргі уақытта көмірқышқыл газы, метан және азот оксиді сияқты үш газ қарастырылады. Төменде әртүрлі отын түрлері үшін коэффициенттер берілген.

Кесте 2.2.1 . Әртүрлі отын түрлеріне арналған эмиссиялық коэффициенттер, кг/ГДж

	Көмір	СМГ	Бензин	Дизель	Табиғи газ
CO2	97	63.1	69.3	74.1	56.1
CH4	0.28	0.028	0.084	0.084	0.028
N2O	0.3975	0.0265	0.159	0.159	0.0265

Дереккөз: TIMES Қазақстан моделінің деректері

2.2.6. Дискретті инвестициялық жағдай

Көптеген жағдайларда TIMES үлгісіне тән сызықтық нақты инвестициялық есептерді модельдеу кезінде жеткілікті дәлдікті қамтамасыз етпеуі мүмкін. Қала немесе шағын аумақ сияқты салыстырмалы түрде шағын қауымдастықтың ауқымын талдау үшін қолданылатын TIMES үлгісін елестетіп көріңіз. Бұл масштабқа келетін болсақ, инвестициялық шешімдердің егжей-тегжейлері маңызды болады. Мысал ретінде электр станциясын алайық. Модель белгілі бір қуаттылықтағы электр станциясын салуды ұсынуы мүмкін, бірақ іс жүзінде іске асыруда осы электр станциясының ең аз рұқсат етілген мөлшерін ескеру қажет. Мысалы, небәрі 50 МВт қуаты бар атом электр станциясын салу тұрақсыз және экономикалық тұрғыдан тиімсіз болуы мүмкін.

Сонымен қатар, көп аймақтық модельдеуде басқа да күрделі мәселелер туындайды. Олардың бірі: олардың өлшемдеріндегі дискретті өзгерістерді ескере отырып, өңіраралық электр желілерін немесе, мысалы, газ құбырларын салудың мағынасы бар ма? Белгілі, дискретті қадамдарда ғана жүзеге асырылуы мүмкін мұндай инвестициялық процестер көбінесе «біржолғы» немесе сатылы инвестициялар ретінде жіктеледі. Бұл олардың ерекшелігін көрсетеді - ауқымды үздіксіз өзгертудің орнына белгілі бір аралықта инвестициялау қажеттілігі.

Инвестициялық жобалардың көптеген түрлері үшін өлшемнің абсолютті мәні шешуші рөл атқармайды. Мысалы, 10 950,52 электромобильді сатып алу қажеттілігін анықтайтын модельді алайық. Бұл тұрғыда 10 950 көлікті дөңгелектеу айтарлықтай проблема тудырмайды, әсіресе бұл сан жыл сайынғы статистикалық көрсеткіш екенін ескерсек. Ұқсас логика көптеген тұрмыстық және коммерциялық жылыту құрылғыларына қатысты. Дәл осындай ереже белгілі бір қуаттағы жел турбиналары немесе өнеркәсіптік қазандықтар сияқты объектілерге қолданылады. Жалпы алғанда, біз мүмкін болатын өлшемдердің немесе мөлшерлердің салыстырмалы түрде шағын диапазоны бар технологиялар туралы айтып отырмыз. Осылайша, мұндай технологиялар мен қондырғылар әрбір бірлікті дәл есептеуді талап ететін инвестициялар немесе «бөлшек-бөлшек» инвестициялар ретінде жіктелмейді.

Пайдаланушы ең төменгі өлшемді шектеуді ескере отырып, белгілі бір технологиялар оған сәйкес келетін-келмейтіні туралы түпкілікті шешім қабылдауға ғана жауапты. Бұл шешім барлық ықтимал артықшылықтар мен ықтимал кемшіліктерді мұқият талдауды талап етеді.

TIMES жүйесі бір реттік инвестициялау тәсілінің нұсқасын ұсынады, ол бұрын талқыланғанға қарағанда әмбебап нұсқа болып табылады. Осы контексте k деп белгіленген белгілі бір технологияға барлық инвестициялар алдын ала белгіленген N мәндерінің біріне сәйкес келетіні айтылады: 0, S1(t), S2(t), ...,SN(t). Бұл мүмкіндік тәжірибеде жиі кездесетін әртүрлі стандартты инвестиция өлшемдерін қарастырған кезде өте маңызды.

Осы белгілерді талдай отырып, аталған дискретті инвестиция өлшемдері белгілі бір уақыт кезеңіне байланысты өзгеруі мүмкін екені белгілі болады. Осылайша, бір кезеңде оңтайлы болған инвестиция көлемі екінші кезеңде тиімсіз болуы мүмкін.

Дегенмен, N өлшемдерді белгілі S санының дәйекті еселіктері ретінде белгілеу ұйымдарға белгілі бір технологияға бірнеше рет инвестициялауға мүмкіндік береді, әрбір инвестиция алдын ала белгіленген және белгілі бір стандартқа сәйкес келеді. Бұл тәсіл әсіресе инвестициялық шешімдерінде тұрақтылық пен болжамдылықты іздейтіндер үшін пайдалы болуы мүмкін.

Әдетте, ірі инвестицияларды модельдеу кезінде бүтін айнымалылар қолданылады, яғни мәндері тек теріс емес бүтін сандар (0, 1, 2, ...) болуы мүмкін айнымалылар. Математикалық тұжырым келесідей:

$$VAR_NCAP(p,t) = \sum_{i=1}^{N} S_i(p,t) \times Z_i(p,t) each \rightleftarrows t = 1,..,T$$

c

$$Z_i(p,t) = 0 or 1$$

және

$$\sum_{i=1}^{N} Z_i(p,t) \leq 1$$

Екінші және үшінші шектеулер бірге Z айнымалыларының ең көбі 1-ге, ал қалғандарының барлығы нөлге тең екенін білдіреді. Сонымен, бірінші шектеу енді NCAP алдын ала орнатылған өлшемдердің бірі немесе 0 екенін білдіреді, бұл қалаған нәтиже.

Бір реттік инвестицияны құрастыру қарапайым болып көрінгенімен, ол соңғы оңтайландыру бағдарламасына қатты әсер етеді. Шынында да, MIP есептерін шешу LP есептеріне қарағанда қиынырақ екені белгілі, және шын мәнінде алдыңғы тарауларда талқыланған сызықтық бағдарламалардың көптеген қасиеттері MIP үшін сәйкес келмейді, соның ішінде екілік теориясы, қосымша босаңдық және т.б.. Шектеу екенін ескеріңіз, ол Z(p,t) 0 немесе 1-ге тең болуы керек, бұл сызықтық программалардың бөлінгіштік қасиетіне қайшы келеді. Бұл бүтін айнымалылардың (демек, кейбір инвестициялық айнымалылардың) техникалық-экономикалық аймағы бұдан былай үздіксіз емес екенін білдіреді, бұл MIP шешу үшін таза алгебралық әдістерді қолдануды әлдеқайда қиындатады. Іс жүзінде барлық MIP шешу алгоритмдері (кем дегенде белгілі бір дәрежеде) ішінара санау схемаларын пайдаланады, олар уақытты қажет етеді және LP-де қолданылатын алгебралық әдістерге қарағанда сенімді емес.

Кесте 2.2.2. TIMES-KAZ үлгісіндегі дискретті нұсқалар

	CHP Natural Gas fired CC	CHP Sub-bituminous IGCC	CHP Sub-bituminous Supercritical	ELC NUC New	ELC Natural Gas CombinedCycle	ELC Natural Gas GT	ELC Sub-bituminous IGCC
	5.25	5.75	5.5	5.6	5.25	5.15	5.5
	5.5	6.5	6	6.2	5.5	5.3	6
	5.75	7.25	6.5	6.8	5.75	5.45	6.5
	6	8	7	7.4	6	5.6	7
	6.25			8	6.25	5.75	7.5
	6.5				6.5	5.9	
	6.75					6.05	
	7				7	6.2	
	7.25					6.35	

Дереккөз: TIMES Қазақстан моделінің деректері

2.3. Саясат пен шаралар

Төменде парниктік газдар шығарындыларын азайту үшін әрі қарай талдау үшін пайдаланылған отын жағу және бос шығарындылар салаларындағы саясаттар мен шаралардың жиынтық кестесі берілген.

Кесте 2.3.1 . Секторлар бойынша саясаттар мен шаралардың жиынтық кестесі

Саясат немесе шара	Мақсаты	Қысқаша сипаттама
Табиғи газдың электр энергиясын өндірудегі үлесі	2020 жылы 20%, 2030 жылы 25%.	«Жасыл» экономикаға көшу тұжырымдамасы мен Отын-энергетика кешенін дамыту тұжырымдамасында (қазіргі уақытта жаңартылуда) электр энергиясын өндірудегі табиғи газдың үлесін арттыру мақсатына қол жеткізу мақсаты белгіленген.
Электр энергиясын өндірудегі жаңартылатын энергияның үлесін арттыру	2020 жылы 3%, 2025 жылы 6%, 2030 жылы 15%.	Мақсат «Жасыл» экономикаға көшу тұжырымдамасында және Отын-энергетика кешенін дамыту тұжырымдамасында (қазіргі уақытта жаңартылуда) белгіленген. Қазақстан Республикасы Президентінің 2021 жылғы мамырда өткен электр энергетикасын дамыту мәселелеріне арналған кеңесінде 2030 жылға арналған мақсатты көрсеткіш 10 пайыздан 15 пайызға көтерілді.
Электр энергиясын өндірудегі көмір үлесін қысқарту	2030 жылға қарай 40%	Мақсат халықаралық деңгейде ресми түрде Қазақстан Республикасының Премьер-Министрі Мамин А.У. 2021 жылғы 2 қарашада Глазго қаласында өткен UNFCCC Тараптар Конференциясында сөйлеген сөзінде жарияланды
Атом электр станциясының құрылысы	2030 жылға қарай 1,5 ГВт, 2050 жылға қарай 2,0 ГВт	Мақсат бастапқыда «жасыл» экономикаға көшу тұжырымдамасында белгіленген болатын. Жақында бұл тақырып электр энергиясын тұтынудың өсуіне және жақын болашақта болжамды қуат тапшылығына байланысты қайтадан көтерілді.
Шығарындыларды саудалау схемасы бойынша квотадан тыс секторларға көміртегі салығы	2023 жылы және одан кейінгі жылдары бір тонна CO2 үшін $4 жылдық өсіммен.	Бұл шара Дүниежүзілік банктің қолдауымен дайындалған ҰДО іске асыру жол картасының бөлігі ретінде жоспарланған (Салааралық саясат пен шаралар бөлімін қараңыз)

2.4. ПГ шығындыларының сценарийлері

Бұл бөлім сценарий авторы туралы ақпарат береді - негізгі жане декарбонизация. Барлық сценарист Үшін қолданылатын жалпы болжамдар:

- 2024-2028 жылдар аралығындағы ЖІӨ Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық ханымы болжама бойынша (ҚР ҰЭМ) жзне одан әрі жылына 5,0%;
- Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық дамуында (ҚР ҰЭМ) 2024-2028 жылдардағы халық санының өсу және одан әрі жылдық өсу қарқыны жылына 0,8-0,9% шегінде;
- Мұнай өндіру 2035 жылы шарықтау шағына (115 млн. тонна) жетеді;

Базалық сценарий

Бұл сценарий парниктік газдар шығарындыларын азайтуға бағытталған қабылданған шаралар мен саясаттарды қамтиды:

- Табиғи газ бойынша электр энергиясын өндіру үлесі 2020 және 2030 жылдары тиісінше 20% және 25% деңгейінде;
- 2020, 2025 және 2030 жылдары ЖЭК-тен электр энергиясын өндіру үлесі 3%, 6%, 15% деңгейінде.

Декарбонизациялау сценариі

Бұл сценарий парниктік газдар шығарындыларын азайтуға бағытталған ықтимал шаралар мен саясаттарды қамтиды:

- 2030 жылға қарай көмір өндіру үлесі 40%;
- Қуаты 2030 жылы 1,2 ГВт, 2035 жылы 1,2 ГВт, 2040 жылы 2,4 ГВт және 2045 жылы 1,2 ГВт болатын атом электр станциясын (АЭС) іске қосу;
- Шығарындыларды саудалау схемасы бойынша квотадан тыс секторларға көміртегі салығы.

2.5. Энергетика секторында парниктік газдар шығарындыларының нәтижелері

Барлық сценарийлер үшін парниктік газдар шығарындылары төмендегі кестеде берілген. Бұл модельде қамтылған, бірақ парниктік газдар шығарындылары өндірілетін барлық секторларды қамтымайтын, жағуға арналған энергетикалық секторлардың парниктік газдар шығарындылары және ұшпа шығарындылар екенін ескеру қажет.

Кесте 2.5.1 . Энергетика секторынан парниктік газдар шығарындыларын дамыту сценарийлері, МтСО2экв

	Нақты	Базалық				Декарбонизациялау			
	2021	2030	2040	2050	2060	2030	2040	2050	2060
Электр энергиясын өндіру	105.1	121.7	135.0	140.9	145.7	79.0	64.8	43.6	0.0
Жылу өндірісі	13.5	14.4	14.7	16.4	17.9	11.8	4.6	0.6	0.0
Мұнай өңдеу	1.9	2.1	2.7	2.9	3.3	1.5	1.3	1.2	0.0
Өнеркәсіп	30.4	38.6	50.5	55.9	56.8	36.1	26.4	18.7	0.5
Көлік	25.2	26.9	33.6	36.1	39.3	24.9	20.0	19.6	0.0
Қызмет көрсету секторы	33.5	37.1	39.4	46.5	47.7	19.1	9.8	3.3	0.0
Халық	6.5	8.2	8.4	8.7	10.9	3.9	1.5	0.5	0.0
Ауыл шаруашылығы	3.1	3.3	3.7	4.2	4.4	3.3	3.4	1.6	0.0
Басқа секторлар	2.3	2.6	3.2	3.4	3.5	2.4	1.3	1.1	0.1
Ұшпа – қатты түр	9.7	10.3	11.2	11.9	12.7	6.9	2.9	2.3	0.0
Ұшпа – мұнай және газ	30.8	38.1	54.0	65.7	69.8	58.0	104.6	76.8	3.2
Барлығы	**261.9**	**303.6**	**356.5**	**392.6**	**412.0**	**246.9**	**240.6**	**169.2**	**3.8**

Дереккөз: TIMES Қазақстан моделінің деректері

Ескертпе: Энергияны жағу секторы бойынша парниктік газдар шығарындылары және ұшпа парниктік газдар шығарындылары қамтылған.

Ұсынылған мәліметтерге сүйене отырып, қосымша реттеу шаралары болмаған жағдайда энергетика секторындағы парниктік газдар (ПГ) шығарындылары базалық болжамды сценарийде ұлғаюын жалғастыратыны белгілі болады. Бұл өсіп келе жатқан тенденция қарастырылып отырған уақыт аралығында көрінеді.

Климаттық қалаулы көрсеткіштерге қол жеткізу үшін, атап айтқанда энергетика секторындағы 1990 жылғы деңгейге қатысты ПГ шығарындыларын 15% немесе одан да көп төмендету үшін реттеу жөнінде қосымша шаралар қабылдау талап етіледі. Біздің зерттеу контекстінде осы қосымша шараларға бірнеше негізгі тармақтарды жатқызуға болады.

Электр энергиясын өндіру процесінде көмірге тәуелділікті азайту бірінші кезектегі мәселе болып табылады. Біздің мақсатымыз-2030 жылға қарай оның жалпы энергетикалық баланстағы үлесін 40% - ға дейін азайту. Осы уақыт шегінен кейін осы мақсаттар үшін көмірді пайдалану деңгейі көрсетілген шектен жоғары болмауы керек.

Екінші тармақ-баламалы және экологиялық таза энергия көзі ретінде атом электр станцияларын (атом электр станцияларын) белсендіру. Бұл шығарындылардың жалпы деңгейін төмендететін қосымша фактор болуы мүмкін.

Үшінші маңызды элемент-көміртегі салығын енгізу, әсіресе қазір шығарындыларды квоталауға жатпайтын секторларға қатысты. Бұл қаржы құралы экологияға жауапкершілікпен қарауды және ПГ шығарындыларын азайтуды ынталандыруы мүмкін.

Жалпы алғанда, бұл шаралар қазіргі жағымсыз көрініс айтарлықтай түзете алады және энергетика секторындағы ПГ шығарындыларының төмендеуіне әкеліп соғады, бұл бізді осы жұмыста сипатталған экологиялық мақсаттарға жақындатады.

Жылу және электр энергиясын өндіру

Төменде жылу және электр энергиясын өндіруде парниктік газдардың шығарындылары сценарийлер бойынша берілген.

Кесте 2.5.2 . Электр энергиясын өндіру, млрд кВт/сағ

	Нақты	Базалық				Декарбонизациялау			
	2021	2030	2040	2050	2060	2030	2040	2050	2060
Көмір	77.6	89.1	86.4	43.2	33.6	45.7	21.8	3.8	0.0
Табиғи газ	22.4	28.5	58.3	96.8	117.4	32.3	65.9	81.8	0.0
СЭС үлкен	9.3	11.2	13.3	13.3	7.4	13.3	13.3	13.3	7.4
СЭС шағын	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	3.9	3.9	3.9
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	33.6	42.0	210.0
Күн	1.8	1.0	5.4	35.1	57.7	6.9	13.8	32.8	112.8
Жел	2.4	0.8	1.8	9.5	10.0	8.7	17.3	38.5	119.3
Биоэнергия	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Сутегі	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	13.4	30.0	50.0
Барлығы	114.4	131.3	165.2	197.9	226.1	122.4	183.0	246.1	503.4

Дереккөз: TIMES Қазақстан моделінің деректері

Қарастырылған болжамдық сценарийлердің әрқайсысында электр энергиясын өндіру өсу үрдісін көрсетеді. Негізгі жағдайда 2030 жылға қарай генерация шамамен 15%-ға артады деп күтілуде, ал бұл сан 2060 жылға қарай екі еселенуі керек. Дегенмен, энергияны декарбонизациялауға бағытталған сценарийде 2030 жылға қарай электр энергиясын өндірудің өсімі шамамен 8% құрайды, бірақ 2060 жылға қарай бұл көрсеткіш қазіргі деңгеймен салыстырғанда төрт есеге артады.

Энергетикалық баланстың құрамдас бөліктеріне келетін болсақ, барлық сценарийлерде электр энергиясын өндіру құрылымында көмір үлесінің төмендеуі байқалады. Сонымен қатар табиғи газдан, сондай-ақ су, күн және жел энергиясынан электр энергиясын өндірудің артуы байқалады. Бұл әсіресе табиғи газ өндірудің өсу қарқыны көмірге қарағанда айтарлықтай жоғары болатын бастапқы сценарийде байқалады.

Декарбонизация сценарийі энергияның басқа түрлерін де ескереді. Атап айтқанда, бұл сценарий атом электр станцияларының энергиясын, сондай-ақ сутегі энергиясын пайдалану мүмкіндігін қамтиды. Осыған байланысты, осы

сценарийдегі электр энергиясын өндіру қоспасы таза көздердің пайдасына көмір үлесінің айтарлықтай төмендеуін болжайды.

Тұтастай алғанда, әртүрлі сценарийлерді талдау, таңдалған стратегияға қарамастан, энергетикалық қоспадағы көмірдің үлесі азайып бара жатқанын көрсетеді. Дегенмен, көмірді осы қысқарту және басқа энергия көздерімен алмастыру дәрежесі энергетикалық секторды дамытудың нақты тәсілдеріне өте тәуелді. Базалық сценарийде өсім негізінен табиғи газды пайдаланудың артуына байланысты болады, ал декарбонизация сценарийінде жаңартылатын және таза энергия көздерін кең ауқымды орналастыруға назар аударылады.

Кесте 2.5.3 . Электр станцияларының орнатылған қуаттары, ГВт

	Нақты	Базалық				Декарбонизациялау			
	2021	2030	2040	2050	2060	2030	2040	2050	2060
Көмір	14.5	16.6	18.8	11.7	10.1	15.3	13.2	4.3	3.5
Табиғи газ	3.9	5.6	11.0	20.4	26.9	6.2	12.9	19.3	19.8
СЭС үлкен	2.6	2.6	3.1	3.1	1.7	3.1	3.1	3.1	1.7
СЭС шағын	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Атом	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	4.8	6.0	30.0
Күн	1.0	0.6	3.2	20.4	33.6	4.1	8.7	20.9	72.6
Жел	0.7	0.3	0.6	3.2	3.4	2.8	5.6	12.6	38.9
Биоэнергия	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Сутегі	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.1	1.9
Барлығы	24.0	25.9	37.0	59.1	76.0	34.0	50.1	68.4	169.3

Дереккөз: TIMES Қазақстан моделінің деректері

Жылу энергиясын өндіру саласында атмосфераға шығарындылардың негізгі көзі қазандықтар сияқты қондырғылармен ұсынылған. Бұл ерекшелік біріктірілген жылу-электр станцияларының (ЖЭО) шығарындылары электр энергиясын өндіру секторында есепке алынуынан туындайды. Декарбонизацияға бағытталған сценарийлерде шығарындылардың төмендеуі байқалады. Бұл тенденция жылумен жабдықтау көздері ретінде ЖЭО-ны пайдаланудың жоғарылауымен байланысты, бұл экологиялық таза нұсқа болып саналады.

Айта кету керек, декарбонизация стратегиясына келгенде, атмосфераға зиянды заттардың шығарылу деңгейі айтарлықтай төмендейді. Бұл көбінесе жылу энергиясының негізгі көзі ретінде біріктірілген жылу-электр станцияларын пайдалануға үлкен көшумен байланысты. Мұндай қондырғылар көбінесе таза отынмен жұмыс істейді немесе шығарындыларды өңдеудің заманауи әдістерін пайдаланады, бұл оларды тұрақты даму контекстінде таңдаулы таңдау жасайды.

Қазандықтар жылу өндіру секторында маңызды рөл атқарады, әсіресе олардың қоршаған ортаға әсерін қарастырғанда. Дегенмен, шығарындыларды азайту және тұрақты энергия көздеріне көшу ұмтылысымен ЖЭО барған сайын маңызды орынға ие бола бастады. Бұл осы көздерден жылумен жабдықтауға көшу есебінен шығарындылардың айтарлықтай төмендеуі байқалатын декарбонизацияға бағытталған сценарийлермен расталады.

Өнеркәсіп саласы

Экономикалық белсенділіктің өсуі парниктік газдар мен атмосфераға ластаушы заттардың шығарындыларының өсуіне, әсіресе өнеркәсіптік секторға тікелей байланысты. Дегенмен, экономиканы декарбонизациялауға бағытталған сценарий бойынша парниктік газдар шығарындыларының деңгейін төмендету тенденциясы байқалатынын атап өткен жөн. Осы оң өзгерістерге ықпал ететін негізгі факторлардың бірі - өнеркәсіпке жаңа технологияларды енгізу, әсіресе болат өндіру процесінде сутекті пайдалану.

Болатты дайындаудың дәстүрлі әдістері отын мен коксты пайдаланады, олар көп мөлшерде шығарындылармен бірге жүреді. Дегенмен, жаңа технологиялық тәсілдерде, мысалы, сутегі арқылы темір рудасын азайту, бұл процесс әлдеқайда аз ластайды. Бұл әдісте темір кені қатты күйде сутегімен тотықсыздандырылады, нәтижесінде «губка» деп аталатын темір түзіледі.

Бұл губка темір содан кейін электр тогын шығару үшін электродтар пайдаланылатын электр доғалы пешіне беріледі. Бұл ток губкалы темірді балқыту және одан кейін болат өндіру үшін қажетті температураны қамтамасыз етеді. Бүкіл процесс дәстүрлі көміртекті отынды пайдаланбай өтетіндіктен, парниктік газдар шығарындылары айтарлықтай төмендейді.

Тұтастай алғанда, мұндай технологияларды өнеркәсіптік секторға интеграциялау тек экономикалық өсуді қолдап қана қоймайды, сонымен қатар жаһандық климаттың өзгеруі жағдайында өте маңызды болып табылатын экологиялық жағдайды жақсартуға ықпал етеді..

Транспорт секторы

Базалық даму сценарийінде парниктік газдар (ПГ) шығарындылары экономикалық өсудің және көлік қызметтеріне, соның ішінде жүк және жолаушылар тасымалына сұраныстың артуы нәтижесінде тікелей өседі. Шығарындылардың бұл өсуі көбінесе парниктік газдардың көп мөлшерін шығаратын энергия көздерімен жұмыс істейтін көлікті қарқынды пайдаланумен байланысты.

Керісінше, декарбонизация сценарийі көлік қызметтеріне өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыру үшін неғұрлым жауапты тәсілді ұсынады. Бұл ретте жүк және жолаушылар тасымалына сұраныстың артуы көлік пен энергияның экологиялық таза түрлерін пайдалану есебінен өтеледі. Осылайша, экономикалық белсенділіктің және көлікке сұраныстың өсуіне қарамастан, парниктік газдар шығарындыларының деңгейі іс жүзінде төмендеуде.

Бұл декарбонизация сценарийінде парниктік газдар шығарындыларын азайтатын таза энергия көздері мен технологияларға көшу басты назарда. Бұған электр көліктерін, гибридті технологияларды және тіпті сутегі отынын пайдалану кіреді, олар бірге жалпы ластану деңгейін тиімді төмендете алады.

Қызмет көрсету секторы

Қызмет көрсету секторындағы парниктік газдар шығарындыларының деңгейі анағұрлым энергия тиімді технологияларды қолдану есебінен төмендейді және әртүрлі сценарийлерге сәйкес қабылданатын экологиялық шараларға байланысты өзгереді. Көміртекті салық жүйесін енгізу парниктік газдар шығарындыларын азайту тұрғысынан айтарлықтай әсер ететіні байқалды. Бұл қолданылатын технологияларды жетілдірудің ғана емес, сонымен қатар салықтық жеңілдіктер мен айыппұлдар сияқты институционалдық реттеулердің де нәтижесі.

Сонымен қатар, энергия тиімділігін арттыру процестерді оңтайландыруға және энергияны тұтынуды азайтуға әкеледі, бұл өз кезегінде атмосфераға зиянды заттардың жалпы шығарындыларын азайтады. Бұл заманауи, энергияны үнемдейтін технологияларды пайдалану осы сектордың экологиялық ізін азайтудың негізгі факторы болып табылады дегенді білдіреді.

Әртүрлі экологиялық сценарийлерге сәйкес шараларға келетін болсақ, олар қатаң нормалар мен стандарттарды енгізуден жасыл технологияларды пайдалану үшін қаржылық ынталандыруға дейін болуы мүмкін. Ең тиімдісі, зерттеулер көрсеткендей, көміртегі салығын енгізу. Ол кәсіпорындар мен ұйымдарды қоршаған ортаға зиянсыз энергия көздері мен технологияларын пайдалануға көңіл бөлуге ынталандырады, бұл парниктік газдар шығарындыларының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі.

Халық

Белгілі бір экологиялық шаралар қолданылатын негізгі сценарийде тұрғын үйлерден шығатын парниктік газдар (ПГ) шығарындыларының деңгейі толық декарбонизация сценарийіндегіден асып түседі. Бұл аномалия көміртегінің өнеркәсіптік секторлардан тасымалдануымен түсіндіріледі, онда оның құндылығы азаяды және нәтижесінде халықтың пайдалануы үшін қолжетімді болады. Басқаша айтқанда, көмірді өндіруде тұтынудың төмендеуіне байланысты арзандаса, оның ішкі сектордағы тұтынуы, керісінше, артады, бұл шығарындылардың өсуіне әкеледі.

Алайда көміртегі салығын енгізу бұл жағдайды шығарындыларды азайту бағытында түзете алады. Мұндай салық үй шаруашылықтарын таза энергия көздеріне көшуге немесе олардың жалпы энергия тұтынуын азайтуға ынталандырады. Бұл салық механизмі көмірді тұтынуды азайтуға және тиісінше үй шаруашылықтарынан парниктік газдар шығарындыларын азайтуға әкеледі.

Нәтижесінде, базалық сценарий өнеркәсіп секторларынан көміртегі ығысуына байланысты жоғары шығарындыларды болжаса да, көміртегі салығын белгілеу үй шаруашылықтарын энергия ресурстарын пайдалануда жауапкершілікті арттыруға ынталандыру арқылы осы мәселені шешудің тиімді құралы бола алады.

Ауыл шаруашылығы

Қарастырылған сценарийлердің әрқайсысында 2040 жылға дейін ауыл шаруашылығы экономикасында парниктік газдар (ПГ) шығарындыларының ұлғаюы болжанады. Себебі, бұл сала ел экономикасын дамытудың негізгі салаларының бірі болып табылады және ол үшін белсенді өсім жоспарланған. Бірақ экономиканы декарбонизациялауға бағытталған сценарийлер контексінде осы шығарындылар деңгейін төмендету мүмкін екенін атап өткен жөн. Бұл үрдіс ауыл шаруашылығында қолданылатын көліктердің экологиялық таза, электрлендірілген түрлеріне көшумен байланысты.

Аграрлық сектордың өсуі парниктік газдар шығарындыларының ұлғаюына ықпал ететін негізгі факторлардың бірі болады деп күтілуде, өйткені бұл сектор ұлттық экономиканың экономикалық құрылымында маңызды рөл атқарады. Осылайша, 2040 жылға дейінгі болжамдар бұл саланың қоршаған ортаға тигізетін әсерін азайту шараларын қабылдау қажеттігін көрсетеді.

Дегенмен декарбонизацияға бағытталған сценарийлерде парниктік газдар шығарындыларының біршама азаюы болжануда. Бұл ауыл шаруашылығының көлік инфрақұрылымына электрлендірілген технологияларды енгізудің арқасында мүмкін болып отыр. Мұндай көліктерге көшу қоршаған ортаға тигізетін әсерді азайтады және экология тұрғысынан секторды тұрақты етеді.

Басқалар секторы

Осы сектордағы парниктік газдар шығарындылары көздері анықталмаған және тиісті секторларға бөлінбеген шығарындыларға жатады.

Ұшпа шығарындылар секторындағы парниктік газдар шығарындылары

Бұл салада парниктік газдар (ПГ) шығарындыларының деңгейі саяси шешімдерге және басқа секторларда қабылданған шараларға айтарлықтай тәуелді. Мысалы, егер базалық сценарийді қарастыратын болсақ, шығарындылардың өсу тенденциясы бос шығарындылардың барлық түрлері бойынша байқалатыны анық болады. Бұл белсенді араласусыз ластану деңгейінің жоғарылауын күтуге болатынын көрсетеді.

Екінші жағынан, декарбонизация сценарийінде қатты отынды, атап айтқанда көмірді пайдаланумен байланысты бос шығарындылардың айтарлықтай төмендеуі байқалады. Бұл процесс көмір ресурстарын тұтынуды белсенді түрде экологиялық таза энергия көздерінің пайдасына қысқарту арқылы қолдайды.

Мұнай мен табиғи газға байланысты бос шығарындыларға қатысты, бұл сценарийде олардың өсуі 2045 жылға дейін байқалады. Бұл газдандырудың белсенді үдерісіне және осы отын түрлерін пайдаланудың кеңеюіне байланысты. Алайда, осы сәттен кейін болжамды кезеңнің соңына қарай шығарындылардың

айтарлықтай төмендеуі күтілуде. Бұл факт энергетикалық саясатты қайта қарау мүмкіндігін және неғұрлым тұрақты және экологиялық таза энергия көздеріне көшуді көрсетеді.

Осылайша, әртүрлі секторлар арасындағы байланыс және олардың парниктік газдар шығарындыларының деңгейіне әсері ластануды азайтудың ұзақ мерзімді стратегияларын жоспарлау кезінде ескерілетін негізгі факторлар болып табылады. Бір аймақтағы шығарындыларға басқа салалардағы әрекеттер мен шешімдер айтарлықтай әсер етуі мүмкін, сондықтан шығарындыларды азайтуға кешенді көзқарас өте маңызды.

2.6. Қорытынды

Осы жұмысты қорытындылай келе, TIMES моделінің генераторын пайдалана отырып, Қазақстанның энергетикалық жүйесін техникалық-экономикалық модельдеуді қолданудың 2009 жылдан бері терең тамыры бар екендігі атап өтілді. Бұл біріктірілген жүйе ғылыми-зерттеу басылымдарының дамуына, сондай-ақ әртүрлі ұлттық және халықаралық жобаларға материалдар дайындауға айтарлықтай әсер етті. Бұл үлгіні Қазақстанның 2060 жылға дейінгі көміртегі бейтараптығына қол жеткізу стратегиясы сияқты стратегиялық құжаттарды жасау үшін, сондай-ақ Дүниежүзілік банк сияқты жаһандық ұйымдармен өзара іс-қимыл жасау үшін пайдалануға ерекше назар аудару қажет.

Соңғы жылдары Қазақстан мен Орталық Азиядағы жасыл экономиканы және төмен көміртекті экономикалық дамуды қолдауға бағытталған жоба аясында Қазақстанның энергетика саласына ауқымды талдау жүргізілді. Бұл жоба энергетика саласын 2060 жылға дейін дамытудың түрлі сценарийлерін талдауға арналған жаңа TIMES моделін құруға негіз болды.

Қазіргі уақытта TIMES-KAZ моделі Қазақстан Республикасының жаңа экономикалық деректеріне сәйкес және жаңа технологияларды ескере отырып, үнемі жаңартылып, жетілдіріліп жатқанын атап өткен жөн. Осы жұмыс барысында осы модельдің негізгі аспектілері, сондай-ақ негізгі деректерді жаңартудан бастап елдің экономикалық және энергетикалық жүйесінің тарихи динамикасын ескере отырып модельді калибрлеуге дейін ағымдағы жылы енгізілген бірқатар маңызды жаңартулар ұсынылды.

Осылайша, бұл зерттеу Қазақстанның энергетикалық жүйесін одан әрі дамыту үшін техникалық-экономикалық модельдеуді дамыту мен жетілдіруді жалғастырудың маңыздылығы мен өзектілігін растайды.

Бұл құжат энергия өндірісінде көміртегі бейтараптығына қол жеткізудің стратегиялары мен әдістерін зерттейді. 2060 жылға дейінгі уақыт кезеңін қамтитын болжамды кезең үшін екі негізгі сценарий, негізгі және декарбонизация сценарийі әзірленді және талданды.

Парниктік газдар шығарындыларын азайту бойынша белсенді шараларды қамтымайтын базалық сценарий бүкіл болжамды уақыт көкжиегі ішінде осы

шығарындылар деңгейінің жоғарылауын көрсетеді. Бұл алаңдатарлық және климаттық әсерді азайту үшін шұғыл әрекет ету қажеттілігін көрсетеді.

Екінші жағынан, декарбонизация сценарийінде өнімділіктің айтарлықтай жақсаруы байқалады. Нақтырақ айтсақ, энергетика секторындағы парниктік газдар шығарындылары 2030 жылға қарай 1990 жылғы деңгейден минус 20% құрайды деп күтілуде. Сонымен қатар, бұл көрсеткіш 2040, 2050 және 2060 жылдары тиісінше минус 40%, минус 54% және минус 99% деңгейіне жетіп, жақсаруын жалғастыруда.

Осылайша, нәтижелер декарбонизация стратегиялары энергетикалық сектордың қоршаған ортаға және климатқа әсерін айтарлықтай төмендете алатынын анық көрсетеді. Бұл тұрақты даму үшін таза энергия көздеріне және оны өндірудің тиімді әдістеріне көшудің өзектілігі мен өзектілігін растайды.

Декарбонизацияға бағытталған зерттеу парниктік газдар шығарындыларын айтарлықтай азайту мүмкіндігін растап қана қоймай, мұның нақты әдістерін де анықтады. Негізгі факторлардың бірі – таза және жаңартылатын энергия көздерін, сондай-ақ көмір мен мұнай сияқты дәстүрлі энергия көздерін жоюға мүмкіндік беретін балама нұсқаларды кеңінен қолдану.

Стратегияның тағы бір маңызды элементі энергия өндіру мен тұтынудың бүкіл жүйесінің энергия тиімділігін арттыру болып табылады. Бұл энергия тиімдірек технологияларды әзірлеу мен енгізуді ғана емес, сонымен қатар қолданыстағы процестерді оңтайландыруды қамтиды. Технологияның жетілдірілуі энергияның жоғалуын айтарлықтай азайтады және жүйені сыртқы факторларға төзімді етеді.

Сонымен қатар, әртүрлі процестер мен өндірістерді электрлендіру көміртегі бейтараптығына тағы бір маңызды қадам болып табылады. Бұл тек өндірістік емес, тұрмыстық процестерге де қатысты. Ескірген жану жүйелерін техникалық мүмкін және экономикалық тұрғыдан тиімді болған жағдайда электр баламаларымен ауыстыру парниктік газдар шығарындыларын азайтудың шешуші факторы болуы мүмкін.

Осылайша, таза және жаңартылатын энергия көздеріне толық көшуді, энергия тиімділігін арттыруды және кеңінен электрлендіруді қамтитын кешенді тәсіл көміртегі бейтараптығына нақты және қол жеткізуге болатын жол болып табылады. Бұл осы саладағы алдағы жұмыстың маңызды бағыттарын көрсететін зерттеу нәтижелерімен расталады.

3. Энергетикалық жүйені модельдеудің техникалық-экономикалық негіздемесі PyPSA-ға кіріспе

Python for Power System Analysis (PyPSA) — қуат жүйесін талдауға арналған Python бағдарламалық құралдарының жиынтығы. [11]. PyPSA-ны Карлсруэ Технологиялық Институтында (KIT), Карлсруэде, Германиядағы топ әзірледі және қазір PyPSA масштабын кеңейтті және бүкіл әлем бойынша әртүрлі үлескерлерге ие. Бастапқыда бұл құрал Еуропадағы электр энергетикасы мен энергетикасының моделін жасау үшін пайдаланылды, ал қазір қолда бар ақпаратты, экономика мен энергетикалық сектордың ерекшеліктерін ескере отырып, модельді басқа елдерге кеңейту бойынша белсенді жұмыс жүргізілуде. елдер.

PyPSA қазірдің өзінде дәстүрлі генерация модельдерін, ауыспалы жел мен күнді өндіру, энергияны сақтаудың әртүрлі технологияларын, табиғи газ, сутегі, жылу және көлік секторларымен интеграцияны қамтиды. PyPSA ыңғайлы, өйткені оңтайландыру мәселелерін шешудің барлық кезеңдері ашық, әркім қандай деректер енгізу ретінде қабылданатынын және онымен қандай манипуляциялар орындалатынын көре алады. Сондай-ақ PyPSA жоғары масштабталады және ауқымды сызықтық және квадраттық бағдарламалауды шешу үшін әртүрлі коммерциялық және тегін пакеттерді қолдайды.

PyPSA қазірдің өзінде жаңартылатын энергия көздеріне жылдам және баяу көшу сценарийлерін салыстыру үшін [12], ғимараттарда энергия тұтынуды азайтуды модельдеу үшін [13], ақылды электр желілерін басқарудың жаңа әдістерін сынау үшін [14] қолданылған.

Әрі қарай модель Африка мен әлемге кеңейтілді, зерттеушілердің әртүрлі топтары басқа елдерге, соның ішінде АҚШ, Латын Америкасы және Қазақстанға арналған модельдерді әзірлеуде белсенді жұмыс істеуде және PyPSA Earth атауын алды [15]. Қазіргі уақытта Қазақстан үшін ашық көздерге – спутниктерден, халықаралық статистикалық агенттіктерден алынған геокеңістіктік деректерге және OpenStreetMaps еркін веб-картографиялық сервисіне негізделген PyPSA жұмыс моделі бар. Pupsa Климаттың өзгеруі мен өсуін Shared Socioeconomic Pathways (SSP) негізінде болжау сценарийлерін ұсынады.

PyPSA Earth-тің мақсатты функциясы-электр энергиясын өндірудің жылдық күрделі шығындарын оңтайландыру. Модельде CO2 шығарындыларының шегі, жаңартылатын энергияның үлесі, әр аймақтың өз қажеттіліктері үшін электр энергиясын өндіру пайызы, қуат резервіне қойылатын талаптарды қосу және т. б. сияқты әртүрлі шектеулерді орнатуға болады.

Кесте 2.6.1. PyPSA-ға ұқсас әртүрлі бағдарламалық құралдардың мүмкіндіктерін салыстыру [11].

				Анализ электрической сети						Экономический анализ					
	Программное обеспечение	**Версия**	**Бесплатное ПО**	**Power Flow**	**Continuation Power Flow**	**Dynamic Analysis**	**Transport Model**	**Linear OPF**	**SCLOPF**	**Nonlinear OPF**	**Multi-Period Optimisation**	**Unit Commitment**	**Оптимизация инвестиций**	**Другие сектора**
Инструменты электрической системы	MATPOWER	6	✓	✓	✓		✓	✓		✓				
	NEPLAN	5.5.8		✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓
	pandapower	1.4.0	✓	✓			✓	✓		✓				
	PowerFactory	2017		✓		✓		✓	✓	✓				
	PowerWorld	19		✓		✓	✓	✓	✓	✓				
	PSAT	2.1.10	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓		
	PSS/E	33.1		✓		✓		✓	✓	✓				
	PSS/SINCAL	13.5		✓		✓		✓		✓				✓
	PYPOWER	5.1.2	✓	✓			✓			✓				
	PyPSA	**0.11.0**	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Инструменты энергетической системы	calliope	0.5.2	✓				✓				✓		✓	✓
	minpower	4.3.10	✓				✓	✓			✓	✓		
	MOST	6	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	oemof	0.1.4	✓				✓				✓	✓	✓	✓
	OSeMOSYS	2017	✓				✓				✓		✓	✓
	PLEXOS	7.4					✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
	PowerGAMA	1.1	✓				✓	✓			✓			
	PRIMES	2017					✓	✓			✓	✓	✓	✓
	TIMES	2017					✓	✓			✓	✓	✓	✓
	urbs	0.7	✓				✓				✓	✓	✓	✓

Жоғарыдағы кестеде PyPSA басқа электр және энергияны модельдеу бағдарламалық құралдарымен салыстырылады. Көріп отырғанымыздай, PyPSA әмбебап және коммерциялық бағдарламалық қамтамасыз етуден кем түспейтін функционалдығы бар.

Кез келген ел үшін PyPSA үлгілерінің дәлдігін жақсартатын негізгі пайдаланушы міндеті сенімді деректер мен шынайы сценарийлерді қамтамасыз ету болып табылады. Қазақстан үшін көптеген деректерге қолжетімділік шектеулі, сондықтан әртүрлі пайдаланушыларға арналған модель бір-бірінен әртүрлі нәтижелер бере алады. Дегенмен, PyPSA ел мен аймақтарды дамытудың әртүрлі сценарийлерін салыстырмалы талдау үшін өте қолайлы.

3.1. Қазақстанның электр энергетикасы үшін PyPSA үлгі деректері

3.1.1. Жұмыс процесін басқару

PyPSA-Earth жұмыс процесін Python негізіндегі тіл және жұмыс процесінің орындалу уақыты Snakemake басқарады. Snakemake әрбір процесс үшін кіріс және шығыс файлдарды анықтайтын ережелерді жасау арқылы процестердің орындалуын ұйымдастыруға және автоматтандыруға мүмкіндік береді. Содан кейін Snakmake қажетті нәтижеге қол жеткізу үшін ережелерді біріктіреді. Осылайша, Snakemake қайталанатын, бейімделетін және мөлдір өнімділікті қамтамасыз ететін тұрақты бағдарламалық құралды жасауға көмектеседі.

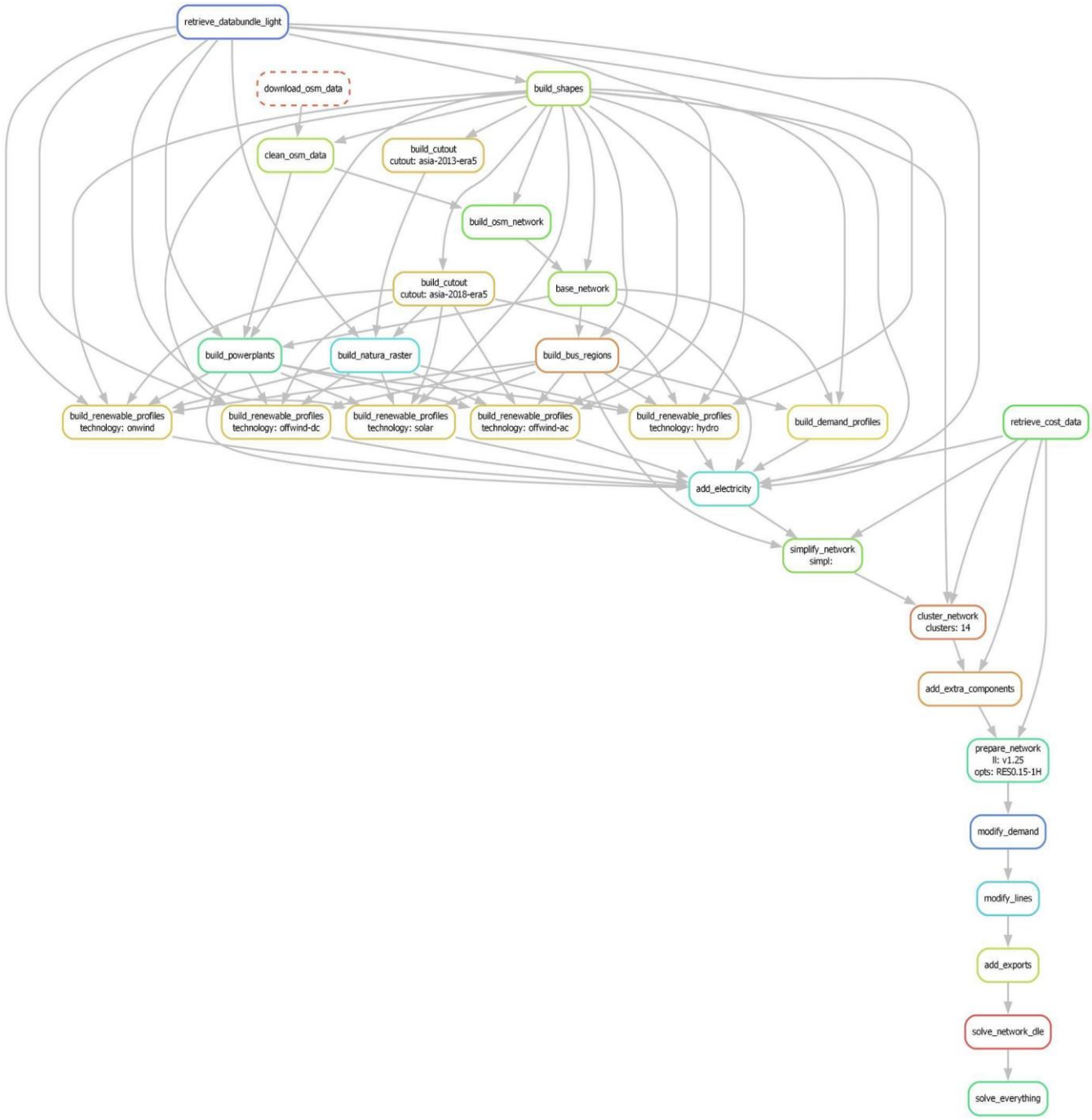
PyPSA-Earth Snakemake-те жеке ережелер жинағы ретінде енгізілді және жүк үлгілері мен электр беру желілеріне белгілі бір шектеулерді енгізу үшін Қазақстан үшін бірегей ережелер қосылды. PyPSA-Earth пайдаланушысы кодтың бір жолымен үлгіні іске қосып, қажетті нәтижеге қол жеткізе алады. Бүкіл процесті кішірек ережелерге бөлу пайдаланушының үлгімен әрекеттесуін және қажет болған жағдайда өзгертулер енгізуін жеңілдетеді.

Snakemake іске қосуға арналған барлық конфигурациялар конфигурация {}.yaml файлында көрсетілген. Әртүрлі іске қосу үшін әртүрлі конфигурация файлдарын жасауға болады, бұл кодтардың өзін өзгертпей, параметрлерді өзгертуге мүмкіндік береді. Әрбір Snakemake ережесі төмендегі суретте сипатталған бірнеше негізгі блоктардан тұрады.

```
# Назнание правила
rule build_osm_network:

    # Вводные данные
    input:
        generators="resources/" + RDIR + "osm/clean/all_clean_generators.geojson",
        lines="resources/" + RDIR + "osm/clean/all_clean_lines.geojson",
        substations="resources/" + RDIR + "osm/clean/all_clean_substations.geojson",
        country_shapes="resources/" + RDIR + "shapes/country_shapes.geojson",

    # Результаты правила
    output:
        lines="resources/" + RDIR + "base_network/all_lines_build_network.csv",
        converters="resources/" + RDIR + "base_network/all_converters_build_network.csv",
        transformers="resources/"
        + RDIR
        + "base_network/all_transformers_build_network.csv",
        substations="resources/" + RDIR + "base_network/all_buses_build_network.csv",

    # Лог файлы, где записываются все произведенные действия
    log:
        "logs/" + RDIR + "build_osm_network.log",

    # Опция для фиксирования времени выполнения правила
    benchmark:
        "benchmarks/" + RDIR + "build_osm_network"

    # Название кода Python, необходимого для получения результатов
    script:
        "scripts/build_osm_network.py"
```

Сурет 3.1.1. Snakemake ережесінің мысалы.

Ереженің сәтті орындалуы үшін көрсетілген нәтижелер мен Python коды болуы керек, ол аталған нәтижелерді шығара алады. Егер кіріспе компьютерде немесе серверде көрсетілген жерде болмаса, онда snake mace мұндай файлды жасауға қабілетті ережелер бар-жоғын іздейді. Егер ереже табылса, онда Snakemace оны нәтиже қолданатын Ережеге дейін тапсырмаларды орындау кезегіне қояды. Осылайша, жұмыс орындалатын процестің бағытталған ациклді графигі жасалады. Егер ережелердің кез келгені циклдік болса, процесті орындау мүмкін болмайды. Қазақстан үшін симуляцияны орындау графигі төмендегі суретте көрсетілген.



Сурет 3.1.2. PyPSA үлгісі үшін бағытталған циклдік процесті орындау графигі

Сондай-ақ, орнату үлгілері әртүрлі конфигурациялармен іске қосу нәтижелерін бөлуге мүмкіндік беретін ережелердің сипаттамасында пайдаланылуы мүмкін. Осылайша орнатуға болатын конфигурацияларға мыналар жатады: жүйені алдын ала оңайлатуға арналған түйіндер саны, кластерлер саны, тарату желілерін кеңейту шектеулері, модельдеу қадамы сияқты оңтайландырудың әртүрлі нұсқалары, үлеске қойылатын талаптар. ЖЭК, шығарындыларды азайту және т.б. Ауыстыру үлгілері бар мысал ереже төменде көрсетілген. Қойылмалы таңбалар көк түспен бөлектеліп, бұйра

жақшаға алынады. Snakemake іске қосылғанда, бұл үлгілер қажетті мәндермен ауыстырылады.

```
rule solve_all_networks:
    input:
        expand(
            "results/" + RDIR + "networks/elec_s{simpl}_{clusters}_ec_l{ll}_{opts}.nc",
            **config["scenario"]
        ),
```

Сурет 3.1.3. Ауыстыру үлгілері бар Snakemake ережесінің мысалы.

Барлығы процесс 28 тапсырманы қамтиды. Егер қандай да бір ережеге арналған кіріспе қол жетімді болса немесе конфигурация файлы арқылы қандай да бір ережелер өшірілсе, тапсырмалар саны өзгеруі мүмкін. Барлық ережелерді шартты 4 санатқа бөлуге болады: деректерді шығару, электр желілерінің моделін құру, модельді жеңілдету, модельді шешу. Қазақстан үшін модель жасау кезінде кейбір деректер шындықты көрсетпейтіндіктен, модельді шешпес бұрын Қазақстан моделі үшін арнайы ережелер іске қосылады. Барлық ережелердің қысқаша сипаттамасы төмендегі кестеде келтірілген.

Кесте 3.1.1. Қазақстандық PyPSA моделіне арналған Snakemake ережелерінің қысқаша сипаттамасы.

Деректерді шығару	retrieve_cost_data	Бұл ережелер қажетті бастапқы деректердің қолжетімді болуын қамтамасыз етеді (Интернеттен немесе бар қалталардан көшірілген)
	retrieve_databundle_light	
	download_osm_data	
Электр желілерінің моделін құру	clean_osm_data	Деректерді стандарттайды және тазартады
	build_shapes	Елдің және әкімшілік аймақтардың шекараларын салады, болжау үшін халық пен ЖІӨ деректерін қосады
	build_osm_network	Ашық көздерден алынған электр желілері
	build_cutout cutout: asia-2013-era5	Copernicus Climate Data Store дүкенінен климат деректері
	build_cutout cutout: asia-2018-era5	
	base_network	Электр желісінің топологиясын жасайды
	build_powerplants	Желіге генератор үлгілерін қосады

	build_demand_profiles	Желіге жүктеме үлгісін қосады
	build_natura_raster	Жаңа станциялар мен желілерді құруға болатын аумақтарды анықтау үшін беттік нүктелік кескіндерді қосады
	build_bus_regions	Әрбір автобус үшін құрлық және жағалау аймақтарын көрсететін Вороной аймақтарын жасайды.
	build_renewable_profiles technology: hydro	Әрбір желі торабы (I) үшін Atlite пакеті негізінде белгіленген қуатты (жерді пайдалану негізінде), (ii) электр энергиясын өндірудің қол жетімді уақыт сериясын (ауа райы деректері негізінде) және (iii) тікелей және айнымалы ток жердегі және теңіздегі жел қондырғылары мен күн фотоэлектрлік генераторлары үшін тораптан орташа қашықтықты есептейді.
	build_renewable_profiles technology: offwind-ac	
	build_renewable_profiles technology: offwind-dc	
	build_renewable_profiles technology: onwind	
	build_renewable_profiles technology: solar	
	add_electricity	Желі моделіне қолданыстағы генерация мен сақтау технологиясын қосады
Модельді жеңілдету	simplify_network simpl:	Тарату желісін 380 кВ-қа тең желіге түрлендіреді
	cluster_network clusters: 14	Желіні белгілі бір аймақтар санына бөлу үшін k-орташа (k-means) негізіндегі кластерлеу әдісін қолданады, содан кейін желіні бір аймаққа бір шинамен ұсынуға дейін азайтады
	add_extra_components	Қосымша компоненттерді қосуға мүмкіндік береді
	prepare_network ll: v1.25 opts: RES0.15-1H	Модельді шешімге дайындайды
KZ моделіне арналған	modify_demand	Базалық жыл деректеріне сәйкес Қазақстан өңірлері бойынша жүктемені қайта бөледі
	modify_lines	Желідегі максималды шектеулерді қолданады

	add_exports	Модельге экспортталатын және импортталатын электр энергиясын қосады
Модель шешімі	solve_network_dle	Модель шешеді
	solve_everything	Процестің толық тізбегін іске қосады

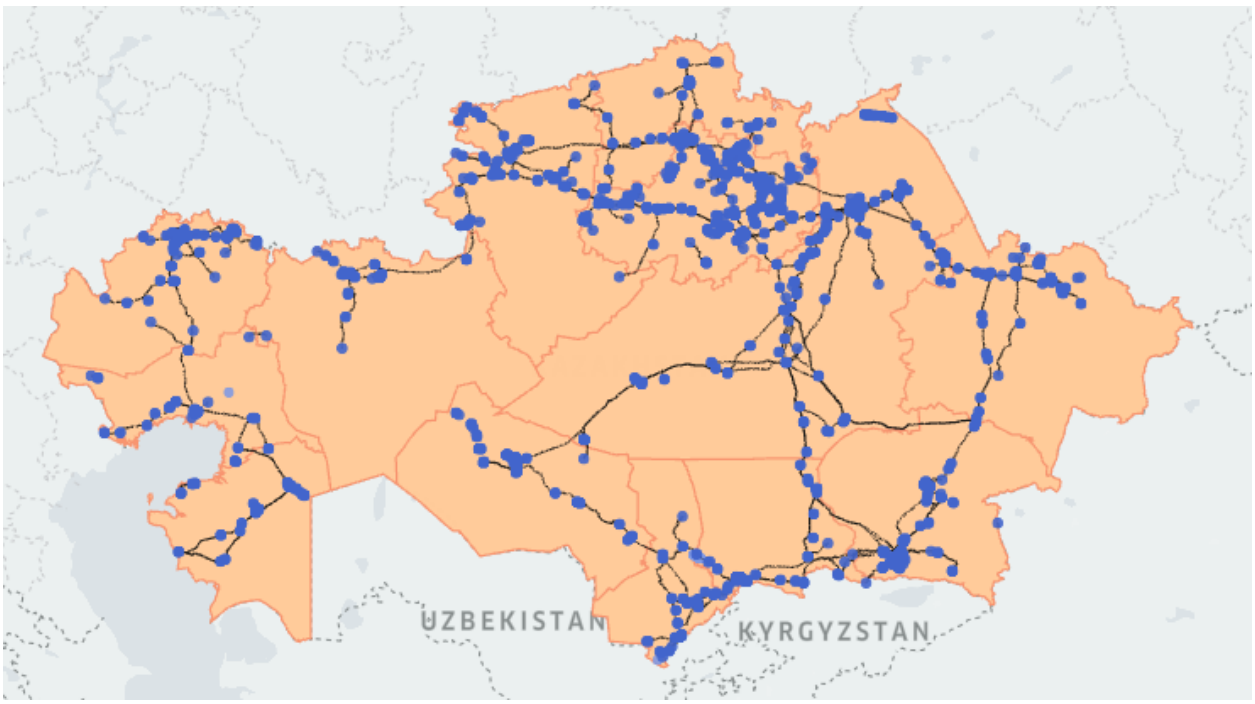
Процесті ережелерге бөлу әрекеттердің реттілігін түсінуге және өзгерістер енгізу үшін қандай ережелерді өзгерту керектігін анықтауға көмектеседі. Әр түрлі сценарийлерді модельдеу үшін конфигурация файлы мен деректерді алу ережелері арқылы берілген кіріспе ғана өзгереді..

3.1.2. Желілер мен электр станцияларының моделі

Қазақстан желілерінің моделі әртүрлі кернеудегі: 500кВ, 220кВ, 110кВ жоғары вольтты электр беру желілерінен, сондай - ақ номиналы 1150кВ Солтүстік Қазақстанды кесіп өтетін бір желіден тұрады. Бұл аймаққа электр энергиясын жеткізу Ресейден өз генерациясы мен импорты есебінен жүзеге асырылады. Pypsa - Earth желісінің модельдері OpenStreetMaps ашық көзінен модельденеді, дегенмен олар қолданыстағы электр желілерінің моделін жақсы қайталайды. Болашақта ақпараттың дұрыстығы үшін электр желілері туралы деректерді қолмен енгізуге болады. Төмендегі суретте алынған сызықтар мен ҚР генерациясының моделі көрсетілген.

Қазақстан үшін генерация туралы деректер "custom_powerplants.csv”. Бұл файлда болуы керек негізгі деректер: атауы, станция түрі, отын түрі, қуат, іске қосу және шығару жылы, ел, бойлық және ендік электр желілеріне қосылу және кейіннен кластерлеу үшін. Сондай-ақ, өнімділік деректерін, жаңарту күндерін қосуға, станцияны белгілі бір түйінге байланыстыруға болады. Файлда қол жетімді және жоспарланған станцияларды көрсетуге болады.

Модельдеудің келесі кезеңі үшін жаңартылған деректер модельге енгізіледі..



Сурет 3.1.4. Электр желілерінің географиялық орналасуы және генерациясы

Модельге келесі өндіру түрлері қосылды:

- көмір электр станциялары (coal)
- ашық циклді газ электр станциялары (OCGT)
- аралас циклді газ электр станциялары (CCGT)
- су электр станциялары (run of river – RoR)
- жел электр станциялары (wind)
- күн электр станциялары (solar).

Электр станцияларының аталған түрлерінің ішінен тек көмір мен газдар CO2 шығарындыларын шығарады, ал қалған түрлері ЖЭК-ке жатады. Оңтайландыру мақсатында ocgt, жел және күн электр станцияларының технологиялары кеңейтуге қол жетімді деп белгіленді, яғни оңтайландыру мәселесін шешуде жаңа қуаттарды қосуға болады. Көмір электр станциялары, CCGT және гидроэлектростанциялар келесі себептер бойынша қуаттылықты арттыру мүмкін емес: таза энергия көздеріне көшу талабына байланысты көмір, CCGT, өйткені бұл технология OCGT сипаттамалары бойынша төмен, гидроэлектростанциялар бойынша әлеуетке қол жеткізілді деп болжануда. Бұл болжамдар барлық елдер мен аймақтар үшін PyPSA-Earth моделіне енгізілген. Бұл болжамдарды өзгерту үшін бастапқы кодтарды өңдеу қажет, бұл PyPSA-мен одан әрі жұмыс істеуге болады.

Электр энергиясын сақтау технологиялары модельде екі түрі бар:

- кейбір қуаттары Қазақстан аумағында орнатылған және ұлғайту мүмкін емес су қоймалары, мысалы, су электр станциялары,

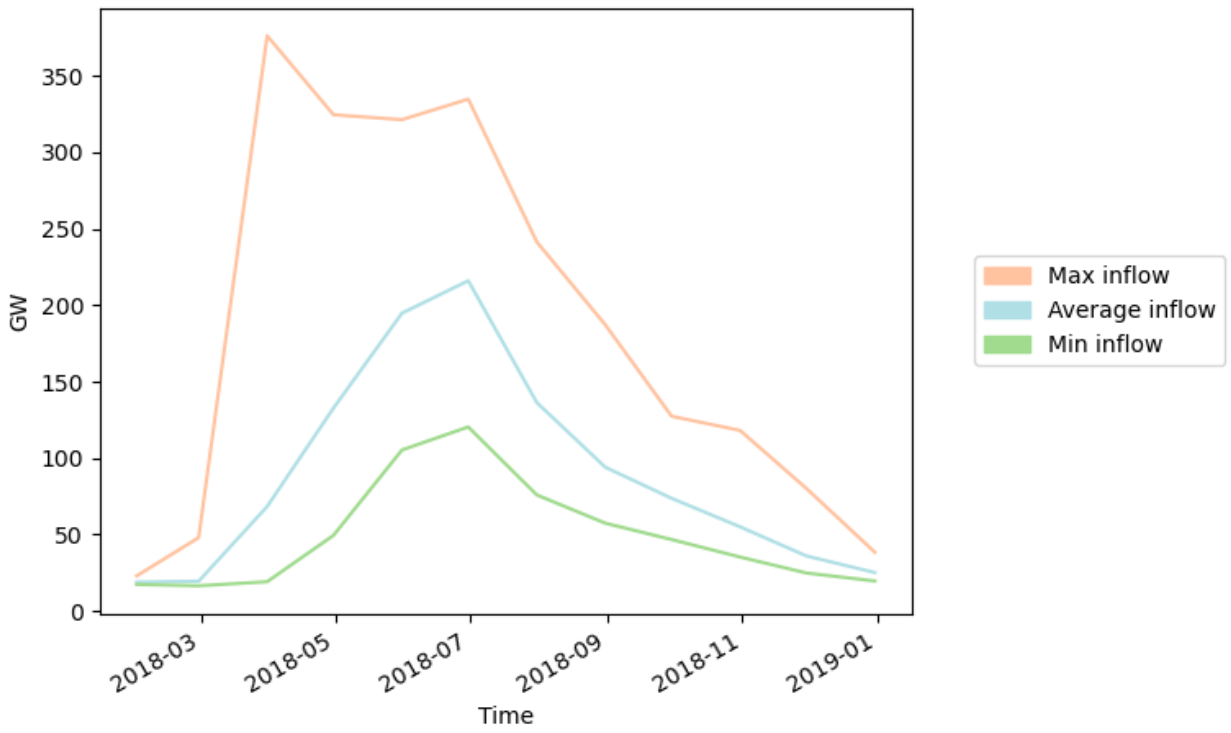
- ұлттық масштабта әлі электр желілерінде жоқ және орнату үшін модельде қол жетімді аккумуляторлық батареялар.

Генерация мен сақтаудың әр түріне арналған математикалық модельдер мен шектеулер 3 .2.1 тарауда келтірілген.

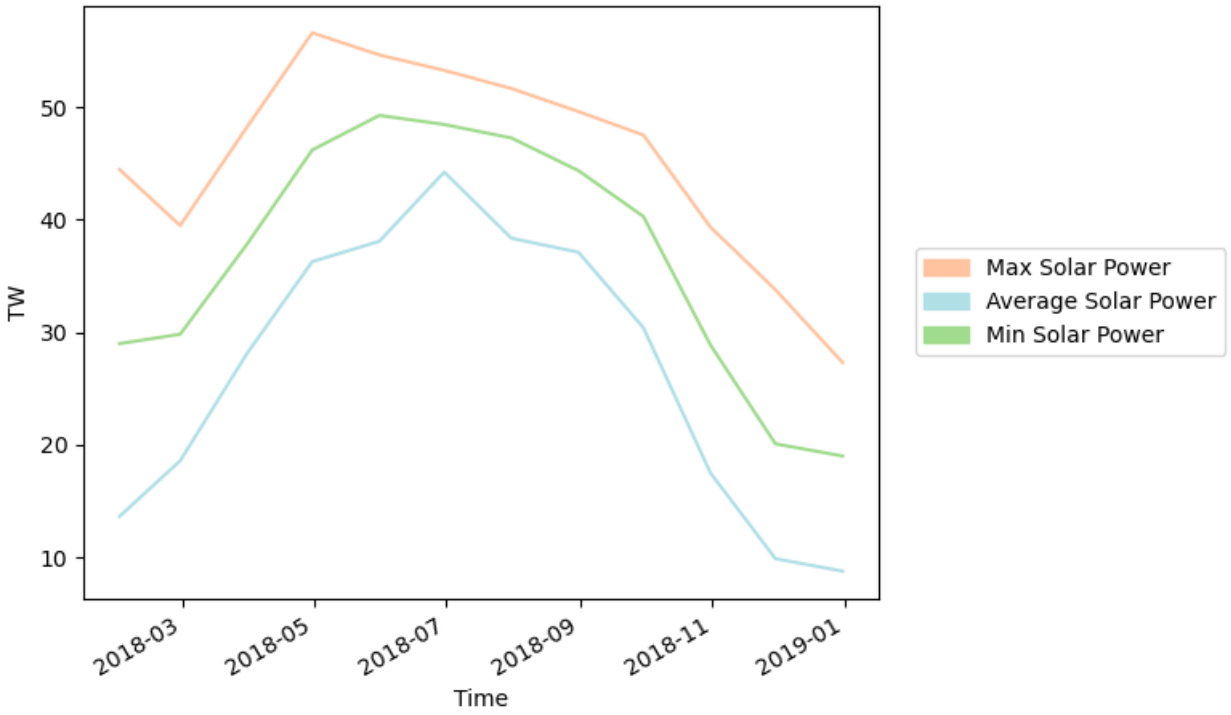
3.1.3. Жаңартылатын энергия көздері

Күн, жел және гидроэнергетикалық уақыт қатарлары сияқты жаңартылатын энергия көздері Atlite ашық бастапқы пакетімен модельденеді. Atlite (i) кеңістіктік-уақыттық шекараларды анықтайтын секторларды жасайды, (ii) әртүрлі дерекқорларды салыстыру арқылы геокеңістіктік шекараларға қоршаған орта мен ауа-райы деректерін қосу арқылы секторларды дайындайды (ERA5 реализ деректері, Sarah-2 спутниктік деректері, және gebco батиметриясы), және, ақырында, (iii) функцияларды қолданады белгілі бір технологиялар үшін кеңістіктік ажыратымдылықтағы уақыт қатарлары мен потенциалдарын алуға арналған түрлендірулер.

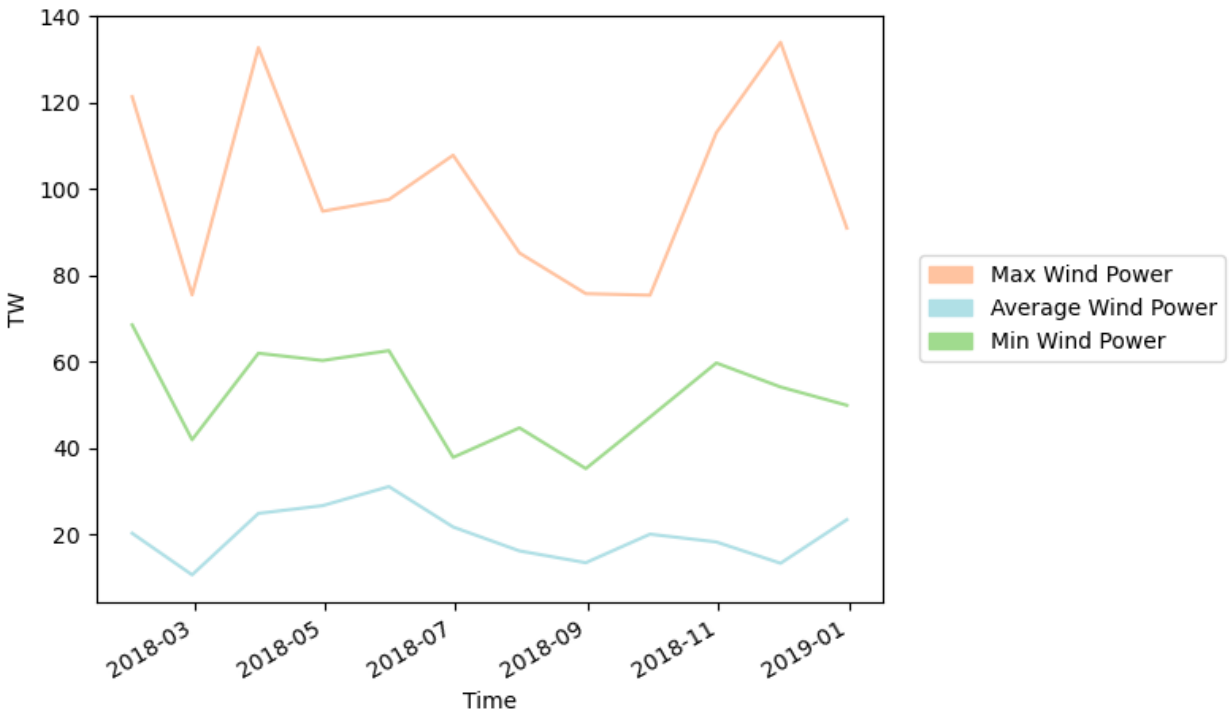
Модельдеу 2018 жылғы деректерді негізгі ретінде пайдаланады. Atlite модулінің көмегімен модель әр түйін үшін күн мен жел энергиясының потенциалдық профильдерінің сағаттық уақыттық қатарларын алады немесе аудандар бойынша кластерлеу кезінде аймақтарды алады. Жеңілдету үшін төмендегі диаграммалар бүкіл ел бойынша жиынтық тәуліктік әлеуеттің орташа, максималды және минималды мәндерін ұсынады. Күн және гидроэнергетика үшін жыл мезгілдері бойынша маусымдық байқалады, жазда ұлғаяды және қыста азаяды, бұл ЖЭК деректері үшін күтіледі. 2018 жылы жел энергиясы үшін жазғы потенциалдың төмендеуінен басқа нақты үлгі жоқ..



Сурет 3.1.5. Қазақстанның 2018 жылға арналған гидроэнергетикасының тәуліктік әлеуетінің бейіні.

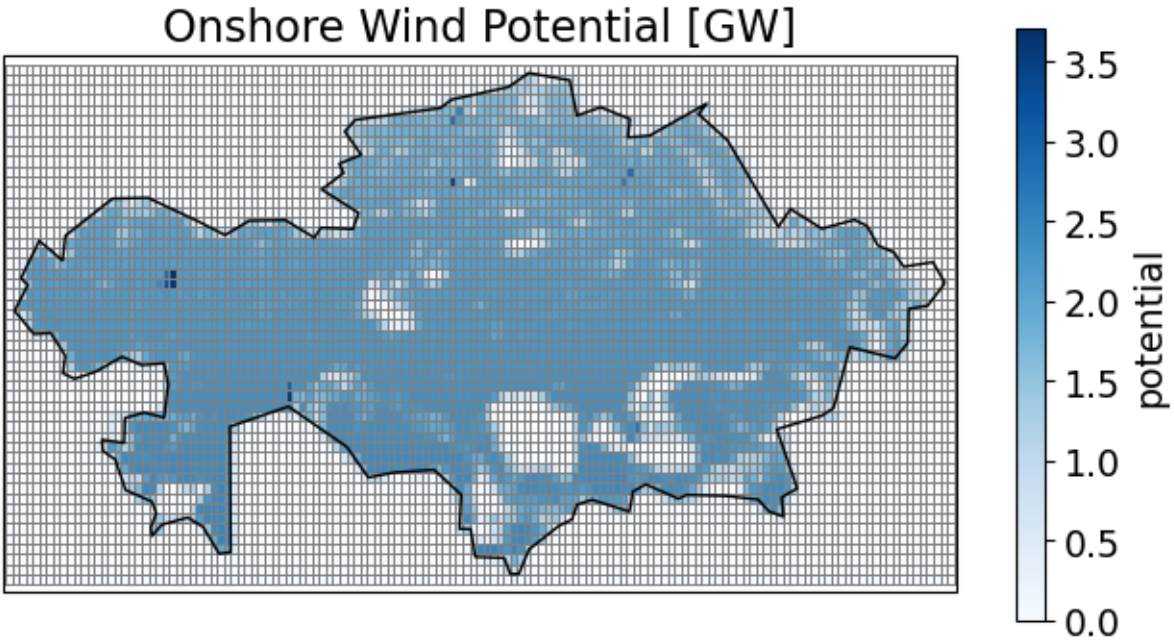


Сурет 3.1.6. Қазақстанның 2018 жылға арналған күн энергиясының тәуліктік әлеуетінің бейіні.

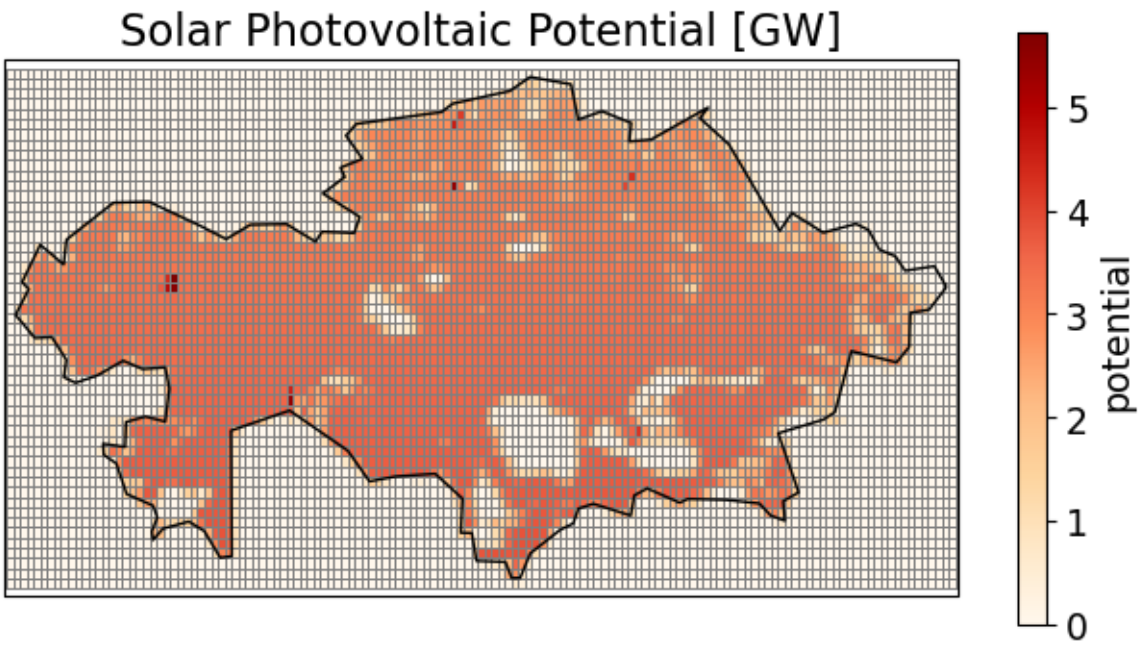


Сурет 3.1.7. Қазақстанның 2018 жылға арналған жел энергиясының тәуліктік әлеуетінің бейіні

Төмендегі суреттер ERA5 қайта талдау деректеріне негізделген шамамен 20x20 км2 географиялық рұқсаты бар ел үшін күн және жел энергиясының әлеуетін көрсетеді. Ақ дақтар су қоймаларының, ұлттық парктердің, ормандардың және құрылысқа жарамсыз басқа аумақтардың болуына байланысты жаңа күн және жел қуаттарын орнату мүмкін емес аймақтарды көрсетеді. Екі цифр да әрбір ұяшықта орнатылған максималды қуат ретінде берілген.



Сурет 3.1.8 . Жел энергиясының потенциалы.

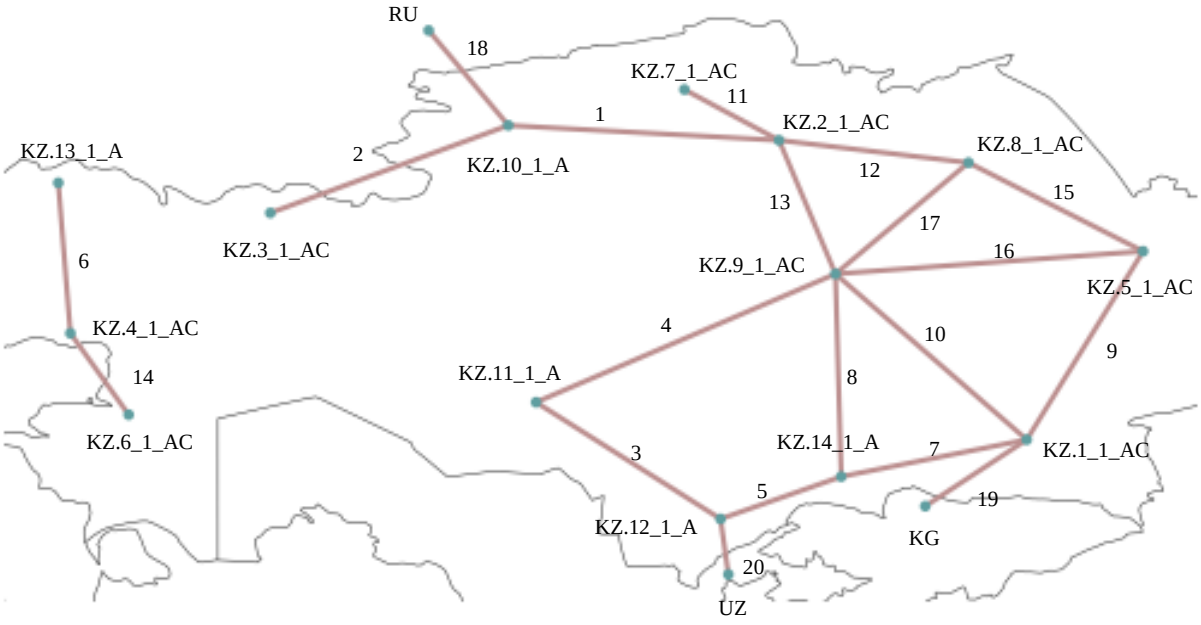


Сурет 3.1.9. Күн энергиясының потенциалы.

3.1.4. Кеңістіктік кластерлеу әдісі

Модельдеу мақсатында Қазақстанның энергетикалық жүйесі 2018 жылғы базалық жылға әкімшілік бөлінісін ескере отырып, 14 кластерге топтастырылған. Кластерлеу үшін кластер нүктелерінің кластер орталықтарынан жалпы квадраттық ауытқуын барынша азайтатын белгілі k-орталар алгоритмі (k-орталары) қолданылады.

Әрбір аудан көршілес қолданыстағы электр желілеріне қосылған, олардың қуаты электр желілерінің параметрлері бойынша шектелген. Сурет 3.1.10 Қазақстандық электр желілерінің кластерлеуден кейінгі жеңілдетілген үлгісін көрсетеді. Сандар электр беру желілерінің нөмірлерін көрсетеді, ал Кесте 3.1.2 түйіндер мен аймақтардың немесе елдердің арақатынасын көрсетеді. Көріп отырғанымыздай, Батыс Қазақстан басқа аймақтардан оқшауланып, үлгі бойынша өзін-өзі қамтамасыз етеді. Кластер орталықтарының географиялық орналасуы және сәйкесінше сызықтар алгоритм арқылы анықталды. Көріп отырғанымыздай, электр беру желілері кластерленгеннен кейін республикадағы негізгі электр беру желілерінің пішінін шамамен қайталайды.



Сурет 3.1.10. Қазақстанның кластерлеуден кейінгі желілік моделі

Кесте 3.1.2. Аймақ белгілері

Түйіннің белгіленуі	Аймақ
KZ.1_1_AC	Алматы облысы
KZ.2_1_AC	Ақмола облысы
KZ.3_1_AC	Ақтөбе облысы
KZ.4_1_AC	Атырау облысы
KZ.5_1_AC	Шығыс Қазақстан облысы
KZ.6_1_AC	Маңғыстау облысы
KZ.7_1_AC	Солтүстік Қазақстан облысы
KZ.8_1_AC	Павлодар облысы
KZ.9_1_AC	Қарағанды облысы
KZ.10_1_AC	Қостанай облысы
KZ.11_1_AC	Қызылорда облысы
KZ.12_1_AC	Түркістан облысы
KZ.13_1_AC	Батыс Қазақстан облысы
KZ.14_1_AC	Жамбыл облысы
RU	Ресей
UZ	Өзбекстан
KG	Қырғызстан

3.1.5. Жоспарлау көкжиегі

PyPSA-да оңтайландыру көкжиегі конфигурация файлы арқылы орнатылады. Жоспарлау көкжиегінің кесілуі бір күннен бір жылға дейін, ал

уақыт қадамы бір сағаттан бір күнге дейін өзгеруі мүмкін. Бұл модельдеу мен оңтайландыруды шешуде үлкен икемділік береді, өйткені пайдаланушы іске қосар алдында тексере алады модель үлкен уақыт қадамдарымен (мысалы, алты сағат) және жоспарлау көкжиегі аз, бұл оңтайландыру процесін едәуір жылдамдатады. Бұл жұмыста 1 жылдық жоспарлау көкжиегі және 1 сағаттық уақыт қадамы бар максималды уақыт ажыратымдылығы пайдаланылды.

Осы жұмыста көп кезеңді оңтайландыру үшін 2030, 2040, 2050, 2060 жылдарға арналған әрбір кесу әр жылдың модельдеу нәтижелерінің дәйектілігіне қол жеткізу үшін жаһандық шектеулерді сақтай отырып, басқасынан бөлек модельденеді.

3.1.6. Модель және есептеу модулінің интерфейсі

PyPSA-Earth моделі жоспарлау зерттеулерін орындау үшін оңтайландыру мәселелерін шешу үшін PYPSA моделінің құрылымын бағдарламалық интерфейстермен біріктіреді. PyPSA - ны қолданудың төменде келтірілген басқа құралдармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар. Біріншіден, PyPSA оңтайландыру тапсырмаларын Python-да масштабтауға мүмкіндік береді. Python пайдаланушыға ыңғайлы болуымен танымал, бірақ жадты тұтынуды және оңтайландыру мәселелерін шешу жылдамдығын талдау кезінде ол Julia немесе C++ бағдарламалау тіліне негізделген құралдармен салыстырғанда бәсекеге қабілетсіз деп танылды. Бұл тапсырманы шешу үшін Linopy пакеті әзірленді, ол тапсырмаларды орындау жылдамдығын арттырады және жадты тұтынуды pypsa-да бұрын қолданылған pyomo оңтайландыру тапсырмаларын өңдеушімен салыстырғанда 50% жақсартады. PyPSA-ны модельдеу үшін тартымды ететін тағы бір мәселе-бұл стандартты құрамдас нысандарды пайдаланатын және үздіксіз қолдау көрсетілетін құжаттамасы бар ең танымал ашық қол жетімді электр құралдарының бірі. Соңында, Linopy негізіндегі Инфрақұрылым ашық және коммерциялық (HiGHS, IBM CPLEX, Cbc, GLPK, Gurobi және т.б.) оңтайландыру мәселелерін шешуге арналған бірнеше бағдарламалық жасақтамамен үйлесімді. Бұл жұмыс үшін негізгі сценарийді шешуде оңтайландыру мәселелерін тез және дәл шешуге мүмкіндік беретін IBM CPLEX қолданылды.

3.1.7. Электр энергетикасын дамытудың негізгі сценарийі

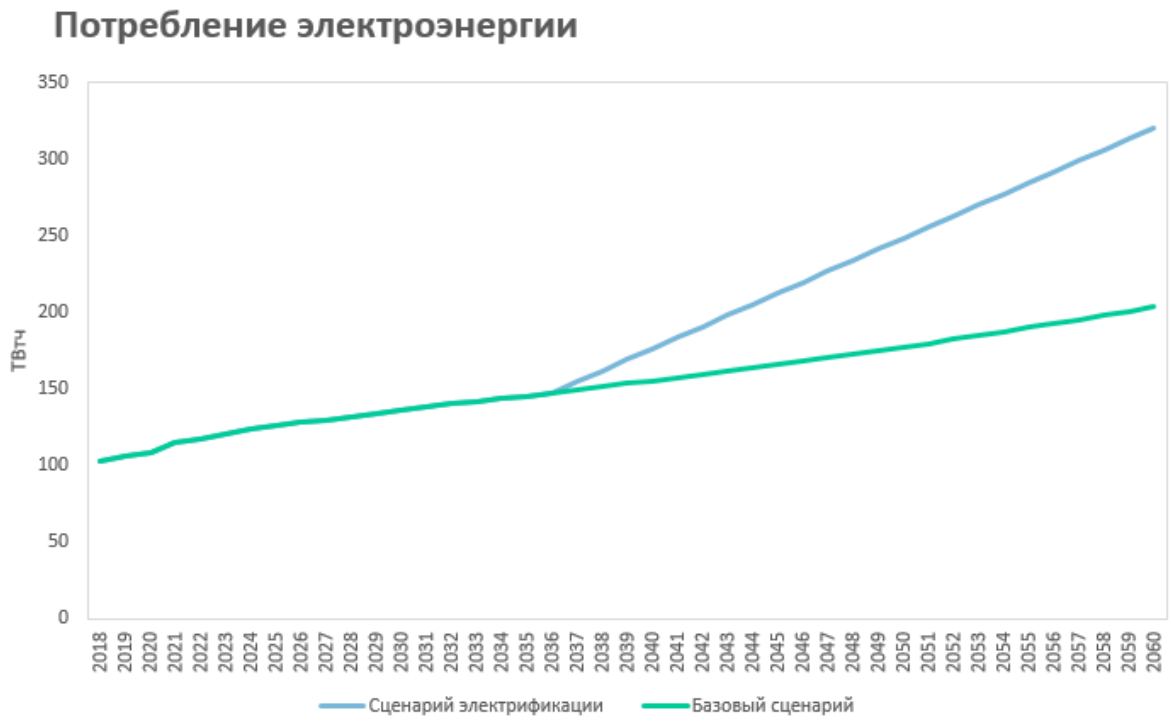
PyPSA-да SSP негізіндегі сценарийлер бар. Қазақстан үшін өсудің орташа қарқыны қолданылды және ЖЭК үлесі бойынша 2030 жылға арналған электр энергетикасы секторының алдына қойылған міндеттер ескерілмеді. Осыған байланысты модельдеу сценарийлері өзгертілді. Егер Қазақстан климаттың өзгеруі жөніндегі одан әрі стратегияларды және қолданыстағы

стратегиялардан басқа декарбонизация мақсаттарын енгізбесе, электр энергетикасын дамытудың базалық сценарийі негізге алынды.

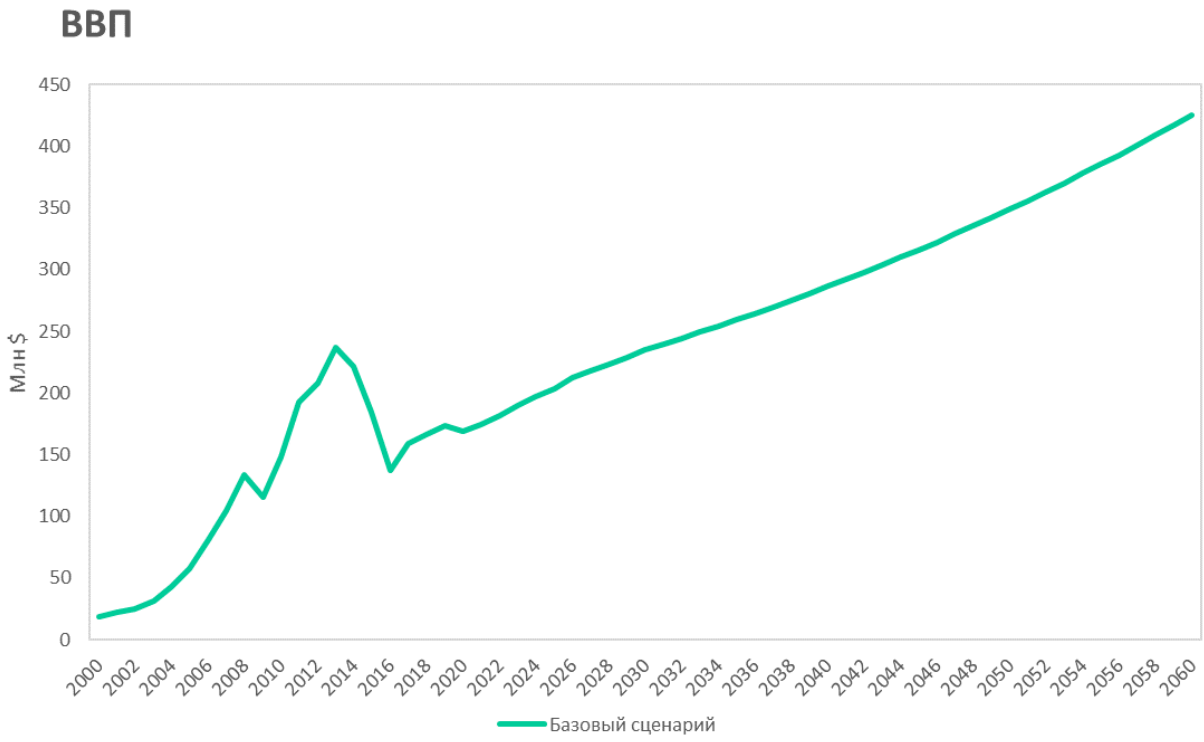
Қазіргі уақытта мемлекеттің стратегиясында Париж келісіміне сәйкес парниктік газдар шығарындыларын 2030 жылдың соңына қарай 1990 жылғы деңгейден 15% - ға төмендету көзделген. 1990 жылы парниктік газдар шығарындыларының деңгейі 386,3 млн. тоннаға тең болды СО2-экв, бұл шығарындылардың базалық деңгейі (БУВ) ретінде алынады. Осы міндеттемелердің негізінде төмен көміртекті даму сценарийлерінде энергетика секторындағы ЖЭК үлесін 2030 жылға қарай 15% - ға дейін арттыру, сондай-ақ шығарындыларды, оның ішінде көмір тұтынуды азайту есебінен қысқарту көзделген. Негізгі сценарий СОР 26-да жарияланған көмірді тұтынуды 2030 жылдың соңына қарай 40% - ға дейін төмендету мақсаттарын ескермеген.

Кейінгі жылдарға арналған негізгі сценарий қолда бар Тарихи деректер негізінде шығарындылардың біртіндеп төмендеуін болжайды. 2060 жылға қарай дамудың осындай қарқынымен шығарындылар деңгейінің төмендеуі ШБД-ның 30% -ын құрайды деп болжануда.

Негізгі сценарийде тұтынудың өсуі эконометрикалық тәсілді қолдану арқылы болжанады, мұнда энергияны тұтыну 2035 жылға дейін ЖІӨ функциясы ретінде болжанады және одан әрі сызықтық өсу қолданылады. Негізгі сценарийде біз экономиканы электрлендіруді ескермейміз, сондықтан электр энергиясын тұтынудың біркелкі өсуі болжанады. Дегенмен, 2060 жылы тұтыну 2018 жылға қатысты негізгі сценарийде 97% - ға артады.



Сурет 3.1.11. ҚР электр энергиясын тұтыну болжамы.



Сурет 3.1.12. ҚР ЖІӨ өзгерісінің болжамы.

Базалық сценарий бойынша өңірлерді газдандыру кезең кезеңмен жүргізілетін болады:

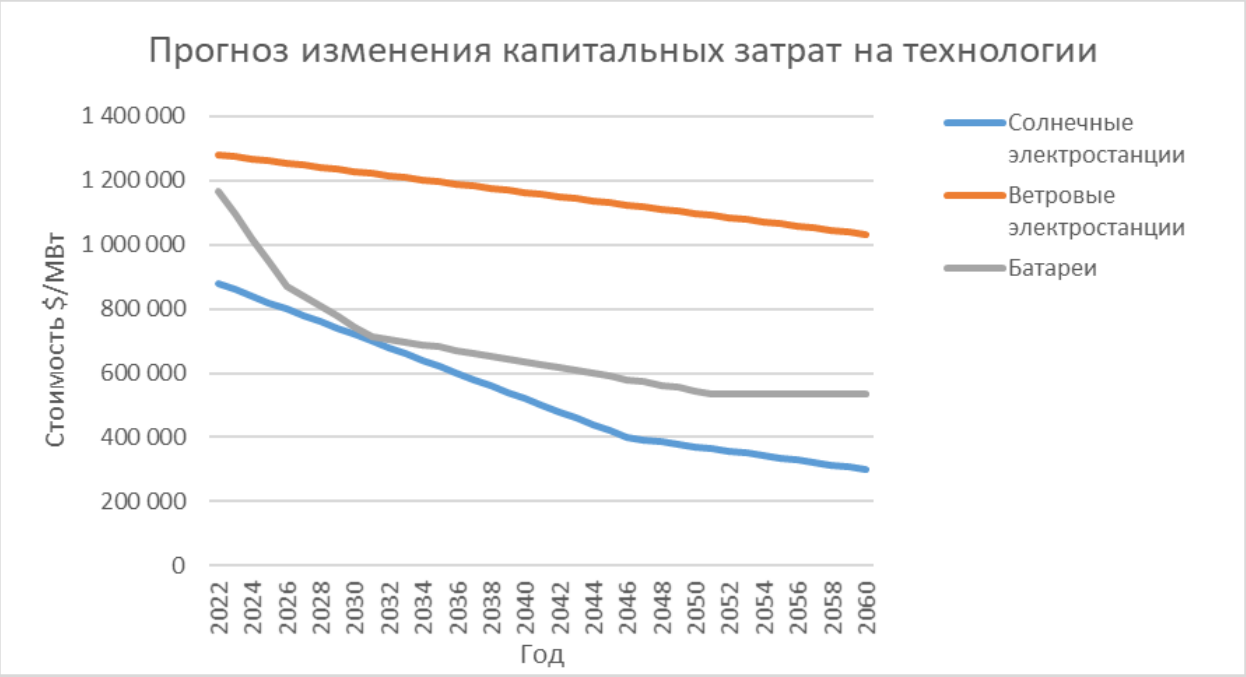
- Ақмола облысы, 2024ж.
- Қарағанды облысы, 2024ж.
- Солтүстік Қазақстан облысы, 2026ж.
- Павлодар облысы, 2032ж.
- ШҚО 2040 жылдан кейін.

Базалық сценарий электр желілері, күн панельдері және жел электр станциялары үшін батарея технологиясының бағасының баяу төмендеуін қамтиды. 3.1.3-кесте және 3.1.13-сурет базалық сценарийде бағаның өзгеру тенденцияларын көрсетеді.

Кесте 3.1.3. Базалық сценарийдегі күн және жел электр станциялары мен қайта зарядталатын батареялардың болжамды күрделі шығындары ($/МВт)

Жыл	Күн электр станциялары	Жел электр станциялары	Қайта зарядталатын батареялар
2030	720 000	1 228 000	745 946

2040	520 000	1 163 000	634 234
2050	371 429	1 098 000	544 144
2060	300 000	1 033 000	536 937



Сурет 3.1.13. Технология құнының өзгеру кестесі

Қазіргі уақытта PyPSA моделінде әр электр станциясының шығарындыларының мәндерін орнату мүмкіндігі жоқ. Шығарындылардың жылдық санын есептеу үшін белгілі бір отынның орташа мәні алынады. CO2 шығарындылары ҚР Экология және табиғи ресурстар министрлігінің деректері негізінде есептелді және 0.275 тонна CO2-экв құрады. Көмір үшін МВт * сағ және 0.201 тонна CO2-экв. Газ үшін МВт * сағ. Оңтайландыруда шығарындылар бойынша лимиттер белгіленбеген, өйткені модельде электр желілерінің өткізу қабілетін 25% - ға дейін кеңейту мүмкіндігі қарастырылған. Сонымен қатар, PyPSA электр желілері бар жерде өткізу қабілеттілігін арттырады, бірақ кластерлер арасында мүлдем жаңа байланыстар салуды ұсынбайды. Кластерлер арасында байланыс құруды модельдеу үшін пайдаланушы қажетті параметрлерді қолмен орнатуы керек.

3.2. Базалық сценарийді модельдеу

PyPSA оңтайлы қуат ағынының (Linear Optimal power Flow - LOPF) және қауіпсіздікпен шектелген LOPF (security Constrained LOPF - SCLOPF) сызықтық оңтайландыру мәселелерін шеше алады. Бұл жұмыста модель LOPF ретінде тұжырымдалған. LOPF үшін кіріспе деректер төменде Python кодындағы белгілерімен бірге берілген:

- network.{snapshot_weightings} – мақсатты функциядағы әрбір уақыт аралығының салмағы
- bus.{v_nom, carrier} – түйіндер үшін номиналды вольтаж және ток түрі тікелей немесе айнымалы
- load.{p_set} – белсенді қуатты тұтыну
- generator.{p_nom, p_nom_extendable, p_nom_min, p_nom_max, p_min_pu, p_max_pu, marginal_cost, capital_cost, efficiency, carrier} – генераторлар үшін номиналды қуат, қуатты ұлғайту мүмкіндігі, номиналды генерация бойынша жоғарғы және төменгі лимиттер, уақыт аралығындағы минималды және максималды қуат, МВт / сағ генерацияның осы түріне шекті және күрделі шығындар, өнімділік, энергия көзі.
- storage_unit.{p_nom, p_nom_extendable, p_nom_min, p_nom_max, p_min_pu, p_max_pu, marginal_cost, capital_cost, efficiency, standing_loss, inflow, state_of_charge_set, max_hours, state_of_charge_initial, cyclic_state_of_charge} - электр энергиясын сақтау жүйелері үшін номиналды қуат, ұлғайту мүмкіндігі қуат, номиналды қуат бойынша жоғарғы және төменгі лимиттер, уақыт аралығындағы минималды және максималды қуат, МВт / сағ үшін сақтаудың осы түріне шекті және күрделі шығындар, өнімділік, заряд болған кездегі шығындар, ағын, оңтайландыруды іске қосу үшін әр интервал үшін заряд деңгейінің мәндері, максималды сақтау уақыты электр энергиясы, бастапқы заряд мәндері, заряд деңгейінің циклділігі.
- line.{x, s_nom, s_nom_extendable, s_nom_min, s_nom_max, capital_cost}, transformer.{x, s_nom, s_nom_extendable, s_nom_min, s_nom_max, capital_cost} – электр желілері мен трансформаторлар үшін реактивтілік, толық қуат шегі, қуатты арттыру мүмкіндігі, желілердің толық қуатын арттырудың төменгі және жоғарғы шектері, капитал құны.
- carrier.{carrier_attribute} – энергия көзі және оның атрибуттары.
- global_constraint.{type, carrier_attribute, sense, constant} – әрбір жаһандық шектеу үшін шектеу түрі, қандай атрибуттар қатысады, салыстыру белгілері (үлкен, кіші немесе тең) және тұрақты..

Бұдан әрі мақсатты функция және сызықтық теңдіктер мен теңсіздіктер түріндегі шектеулер ұсынылады. Оңтайландыру нәтижесі келесі айнымалылар жиынтығы болып табылады:

- bus.{v_mag_pu, v_ang, p, marginal_price} – кернеудің амплитудасы мен бұрышы, сағаттық қуат, әр түйіндегі электр энергиясының жергілікті шекті бағасы.
- load.{p} – сағаттық қажеттілік.
- generator.{p, p_nom_opt} – түйіндегі генерацияның әр түрі үшін сағаттық электр энергиясын өндіру және оңтайлы номиналды қуат.
- storage_unit.{p, p_nom_opt, state_of_charge, spill} - сағаттық электр қуатын өндіру, оңтайлы номиналды қуат, заряд деңгейі және торапта сақтау технологияларының толып кетуі.
- line.{p0, p1, s_nom_opt, mu_lower, mu_upper} – екі жағындағы қуат беру желілері үшін МВА-дағы оңтайлы өткізу қабілеті, көлеңкелі бағаның төменгі және жоғарғы шегі.
- transformer.{p0, p1, s_nom_opt, mu_lower, mu_upper} – трансформаторлар үшін кіріс және шығыс кернеуі, МВА өткізу қабілеті, көлеңкелі бағаның төменгі және жоғарғы шегі.
- global_constraint.{mu} – жаһандық оңтайландыру шектеулерінің көлеңкелі бағасы.

Осылайша, PyPSA модельерлер мен шешім қабылдаушыларға болашақта ең тиімді декарбонизация сценарийін жасауға көмектесетін айнымалылардың кең ауқымын оңтайландыруға қабілетті.

3.2.1. Есептің математикалық тұжырымы

PyPSA модулі сызықтық математикалық бағдарламалау мәселесін тұжырымдауға арналған кодтарды қамтиды. Барлық кіріспе мәліметтер бастапқы кезеңдерде дайындалады (3.1.1-кестені қараңыз) және пайдаланушы басқаратын айнымалылар конфигурация файлында орнатылады. Конфигурацияларға байланысты модель белгілі бір шектеулер мен модель параметрлерін қамтиды.

Мақсатты функция

Мақсатты функция әр компонент үшін күрделі шығындардан және генераторлардың пайдалану шығындарынан тұрады:

$$\min_{\bar{g},\bar{h},F,g,h} \sum_{n,s} c_{n,s}\bar{g}_{n,s} + \sum_{n,s} c_{n,s}\bar{h}_{n,s} + \sum_{l} c_l F_l + \sum_{t} w_t\left[\sum_{n,s} o_{n,s,t} g_{n,s,t} + \sum_{n,s} o_{n,s,t} h_{n,s,t}\right] + \sum_{t} \left[suc_{n,s,t} + sdc_{n,s,t}\right] \quad (1)$$

Қайда:

$n \in N = \{0, \dots |N| - 1\}$ – түйін индекстері

$t \in T = \{0, \dots |T| - 1\}$ – уақыт индекстері

$l \in L = \{0, \dots |L| - 1\}$ – электр желілерінің индекстері

$s \in S = \{0, \dots |S| - 1\}$ – әр торапта әр түрлі генераторлар мен электр энергиясын сақтау технологияларының индекстері

w_t – мақсатты функциядағы әрбір t уақыт аралығының салмақ коэффициенттері

$g_{n,s,t}$ – уақыт аралығындағы N түйініндегі s генераторының қуаты t

$\bar{g}_{n,s}$ – N түйініндегі s генераторының номиналды қуаты

$h_{n,s,t}$ - T уақыт аралығындағы N түйініндегі s сақтау технологиясының қуаты

$\bar{h}_{n,s}$ – n түйінінде s сақтау технологиясының номиналды қуаты

$suc_{n,s,t}$ - егер орнату міндеттемесі бар N түйініндегі s генераторы t кезінде іске қосылса, іске қосу шығындары

$sdc_{n,s,t}$ - егер орнату міндеттемесі бар N түйініндегі s генераторы t кезінде іске қосылса, тоқтату құны

$c_{n,s}$- s генераторының номиналды қуатын бір МВт-қа арттыруға арналған күрделі шығындар

c_l- l беру желісінің номиналды қуатын бір МВА-ға арттыруға арналған күрделі шығындар

F_l – МВА-дағы l электр желісінің қосымша қуаты

$o_{n,s,t}$ - бір мвтсағ үшін генератормен электр энергиясын өндірудің шекті құны

Функцияның өзінде оңтайлы номиналды және сағаттық генерация, сақтау және беру желілерінің айнымалылары бар, қалған оңтайландырылған айнымалылар сызықтық бағдарламалау шектеулерінен анықталады.

Оңтайландыру шектеулері

Оңтайландыру шектеулерінде бірнеше деңгейлер бар: барлық сызықтарға, генерацияларға немесе басқа айнымалыларға қатысты жаһандық шектеулер және жеке айнымалыларға қолданылатын жергілікті шектеулер.

Жаһандық шектеулерге әр түйіндегі генерация мен жүктеме тепе – теңдігі жатады-кез-келген уақыт аралығында $t \in T$ сақталуы керек электр энергиясының сақталу заңы:

$$\sum_s g_{n,s,t} + \sum_s h_{n,s,t} - \sum_s f_{n,s,t} - \sum_l K_{nl} f_{l,t} = \sum_s d_{n,s,t} \quad \leftrightarrow \quad w_t \lambda_{n,t} \quad (2)$$

Қайда:

$f_{n,s,t}$ – зарядтау кезінде сақтау технологиясының электр энергиясын тұтынуы

K_{nl} – әр жолға қандай түйіндер қосылғанын көрсететін оқиға матрицасы

$f_{l,t}$ – t уақыт аралығындағы l сызығы бойынша ағынның қуаты

$d_{n,s,t}$ – t уақыт аралығындағы n түйініндегі тұтыну

$\lambda_{n,t}$ – тораптағы электр энергиясының көлеңкелі шекті құны

Базалық сценарий моделіндегі екінші маңызды жаһандық шектеу-жалпы энергия тұтынудағы жаңартылатын энергияның үлесі:

$$\frac{\sum_{s\in R,t,n}(g_{n,s,t}+h_{n,s,t})}{\sum_{s,n,t} d_{n,s,t}} \geq RES \quad (3)$$

Қайда:

$R = \{0, \dots |R|-1\} \in S$ – әр түйінде жаңартылатын энергия генераторларының индекстері мен сақтау технологияларының жиынтығы

RES - конфигурация файлында көрсетілген ЖЭК үлесі

Базалық сценарий үшін келесі жаһандық шектеу-беріліс желілерінің өткізу қабілеттілігін арттыру:

$$\sum_{l} F_l \leq \mathrm{vol} \sum_{l} \bar{F}_l \quad (4)$$

Қайда:

$\bar{F}_l$ – беріліс желілерінің белгіленген қуаты

vol – беріліс желілерінің қуатын кеңейту шегі

Жергілікті шектеулерге генераторлар мен сақтау технологияларының сыйымдылықтары, зарядтау және разрядтау жылдамдығы, генерацияны құру және азайту жылдамдығы бойынша барлық шектеулері жатады. (5) Формула кез келген уақытта генерация шегін көрсетеді.:

$$\tilde{g}_{n,s,t} * \bar{g}_{n,s} \leq g_{n,s,t} \leq \bar{g}_{n,s,t} * \bar{g}_{n,s} \quad \forall\, t \in T \quad (5)$$

Қайда:

$\tilde{g}_{n,s,t}, \bar{g}_{n,s,t}$ – n түйініндегі s генераторының номиналды қуат бірлігіне t интервалына қол жетімділігі. Бұл параметрлер әр уақыт аралығында беріледі, өйткені күн, жел және гидроэнергетика үшін генерацияның қол жетімділігі ауа-райына байланысты.

Бұдан басқа, бақыланатын энергия көздері үшін генерацияның жоғарылау немесе төмендеу жылдамдығына шектеулер қосу мүмкіндігі бар. Бұл модельде олар енгізілмеген және кейінгі жұмыстарда қарастырылуы мүмкін.

Электр энергиясын сақтау технологиялары үшін жергілікті шектеулер де бар. Максималды заряд күйін максималды шығыс қуатына қарамастан оңтайландыру мүмкін емес (олар максималды сағат санының айнымалысымен байланысты), ал максималды шығыс қуаты максималды кіріс қуатымен байланысты. Бұл сақтау технологиясының шынайы моделі. PyPSA-да осы айнымалыларды бір-бірінен бөлек оңтайландыруға мүмкіндік беретін икемді диск моделі бар. Бұл жұмыста аккумуляторлық батареялар мен гидроқоймалар сияқты сақтау технологиялары ғана ескерілген. Генерациядан айырмашылығы, сақтау технологиялары уақытқа тәуелді үш айнымалыға ие:

- Батарея немесе сақтау орны таусылған кезде шығыс қуаты:

$$0 \leq h_{n,s,t} \leq \bar{h}_{n,s} \quad (6)$$

- Зарядтау кезінде кіріс қуаты:

$$0 \leq f_{n,s,t} \leq \bar{h}_{n,s} \quad (7)$$

- Және заряд деңгейінің өзі:

$$0 \leq soc_{n,s,t} \leq r_{n,s}\bar{h}_{n,s} \quad (8)$$

Қайда $r_{n,s}$ – толық зарядталғанға дейін номиналды қуаттағы сағат саны

Бұл айнымалылар келесі қатынастармен байланысты:

$$soc_{n,s,t} = \eta_{\text{stand};n,s}^{w_t} soc_{n,s,t-1} + \eta_{\text{store};n,s} w_t f_{n,s,t} - \eta_{\text{dispatch;n,s}}^{-1} w_t h_{n,s,t} + w_t \text{ inflow}_{n,s,t} - w_t \text{ spillage}_{n,s,t} \quad (9)$$

$\eta_{\text{stand};n,s}^{w_t}$ – әр түрлі себептерге байланысты тұрақты шығындар, мысалы, жылу қоймалары үшін жылу шығыны. $\eta_{\text{store};n,s}$ и $\eta_{\text{dispatch;n,s}}$ – сақтау технологияларын зарядтау және разрядтау кезінде өнімділікті жоғалту.

Келесі шектеу электр желілеріне қатысты: кез-келген уақыт аралығындағы әрбір сызық өзінің өткізу қабілеттілігімен шектеледі, бұл келесі формуламен көрсетіледі:

$$|f_{l,t}| \leq F_l \quad (10)$$

мұнда теңдеудің оң және сол жақтары беріліс желілерінің өткізу қабілеттілігін арттыру мүмкіндігі бар оңтайландыру айнымалылары болып табылады.

Барлық шектеулер мен мақсатты теңдеуді Linopy модулі сызықтық бағдарламалау түрінде ұсыну үшін өңдейді, содан кейін Snakemake кез-келген

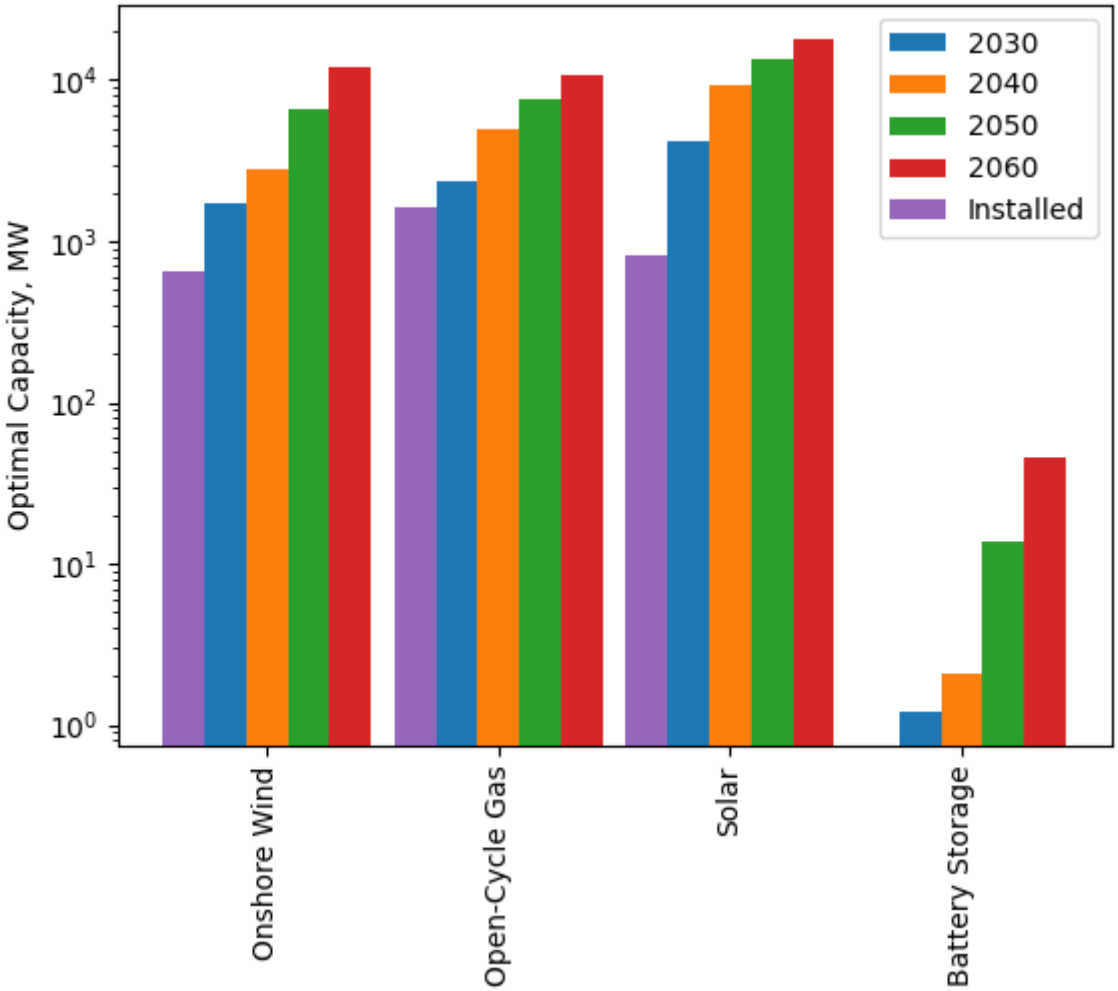
бағдарламалық жасақтамада Python ортасынан тыс оңтайландыру мәселесін шешуге арналған бағдарламалық жасақтаманы іске қосады.

3.2.2. Модельдеу нәтижелері

Бұл тарауда 10 жыл аралығымен 2030-2060 жылдарға арналған модельдеу нәтижелері келтірілген. Қажет болған жағдайда салыстыру негізгі 2018 жылға сәйкес келеді. Кейбір графиктер логарифмдік шкала бойынша берілген, өйткені оңтайлы қуаттар мен сәйкесінше шығындар бойынша технологиялар арасында айтарлықтай айырмашылық бар.

Электр энергиясын тұтыну 2060 жылға қарай сызықтық өсетіндіктен, орнатылған оңтайлы қуат 2060 жылға қарай да артады. 3.2.1-сурет кеңейтуге қол жетімді энергияны өндіру мен сақтаудың әр түрі үшін қуаттың өсуін көрсетеді. Күн электр станцияларының айтарлықтай өсуі байқалады, бұл Қазақстандағы күн энергиясының әлеуетіне және технологияның салыстырмалы түрде төмен құнына байланысты. Қайта зарядталатын батареялар бойынша қуаттың шамалы өсуі, бірақ соған қарамастан бұл технология өте маңызды, өйткені әр аймақта шағын қуаттарды орнату оңтайлы

болады. 3.2.1-кестеде әр технологияның өрістер бойынша қуаттылығының артуы көрсетілген.



Сурет 3.2.1. Әр түрлі технологиялар үшін қуаттың оңтайлы өсуі.

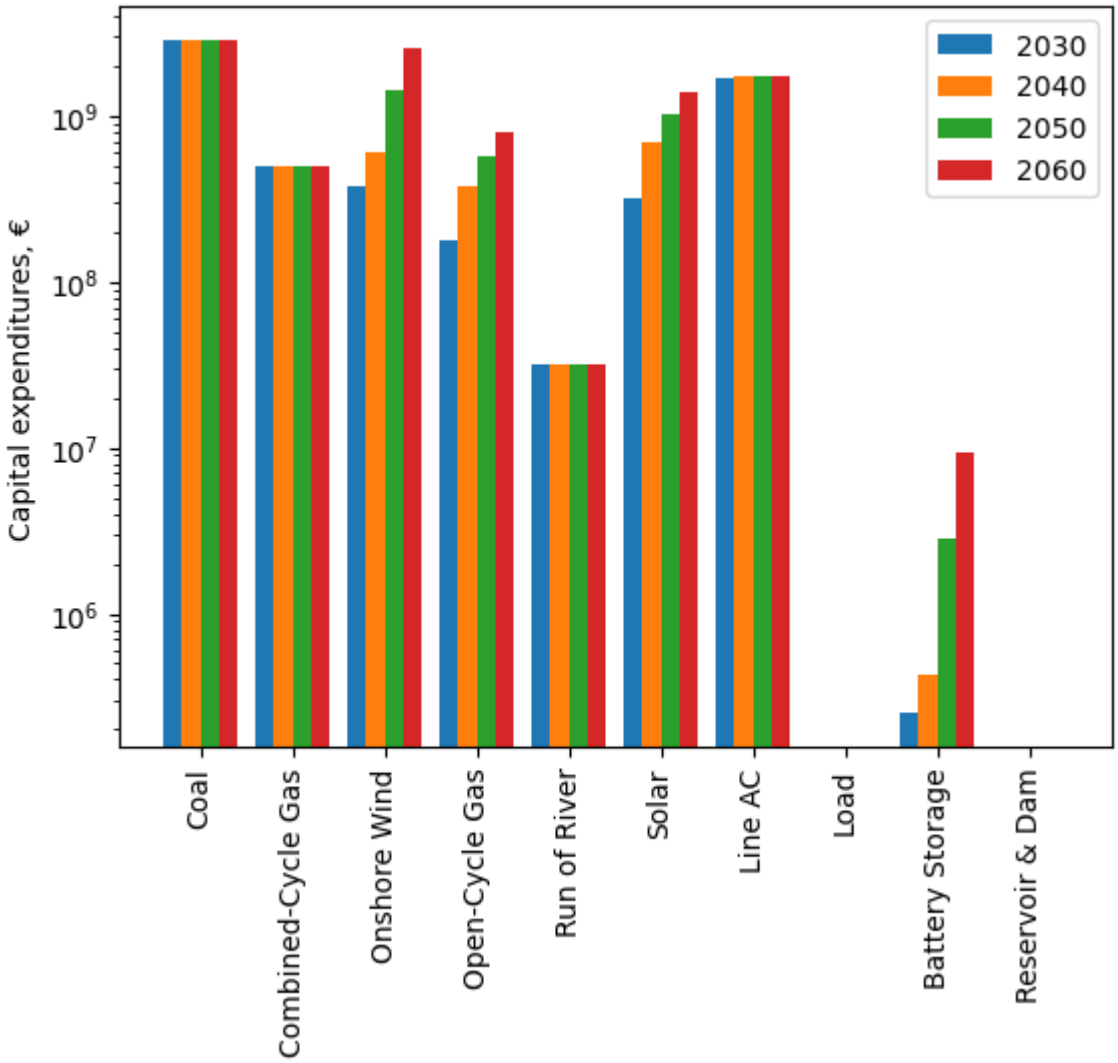
Кесте 3.2.1 Облыстар бойынша қуаттарды ұлғайту

Облыс	Технологиялар	2018	2030	2040	2050	2060	% өсім
Алматы	Күн панельдері	152	152	3224.1	5662.5	8550.4	5525%
	Батареялар	0	0.1009	0.1834	1.3076	2.7295	100%
Ақмола	Батареялар	0	0.1011	0.1836	1.2944	0.6962	100%
Ақтөбе	Газ турбиналары	296	667.43	2421.4	3059.6	3263.5	1003%
	Батареялар	0	0.1011	0.1836	1.1243	0.3054	100%
Атырау	Газ турбиналары	803	803	803	818.67	823.4	3%
	Жел станциялары	101	198.18	310.24	271.84	395.36	291%
	Күн панельдері	0	324.01	343.86	348.01	519.66	100%
	Батареялар	0	0.0316	0.0222	0.0858	0.1545	100%
Шығыс Қазақстан	Күн панельдері	30	30	30	30	296.09	887%
	Батареялар	0	0.1011	0.1835	1.2973	0.9516	100%
Маңғыстау	Газ турбиналары	120.4	120.39	120.4	272.21	516.42	329%
	Жел станциялары	43.2	857.91	1201.6	1807.7	2136.9	4846%
	Күн панельдері	0	2248	2247.4	2239.7	2524.6	100%

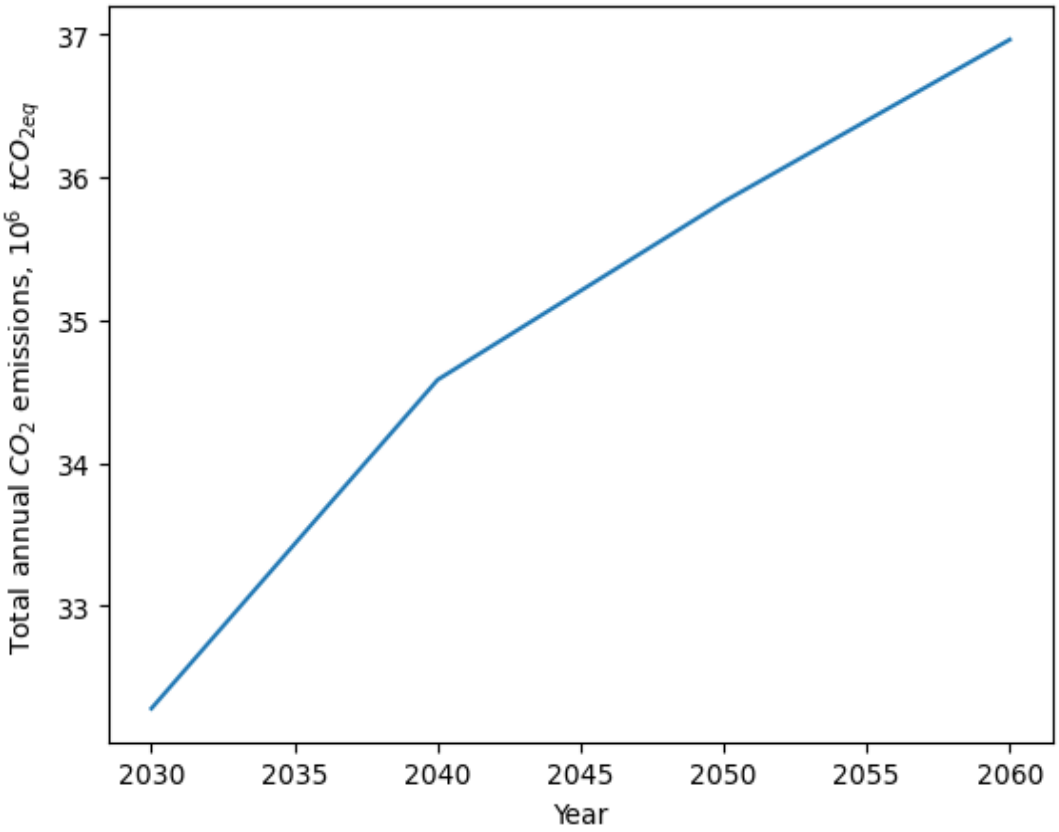
	Батареялар	0	0.0328	0.0228	0.0906	0.163	100%
Солтүстік Қазақстан	Жел станциялары	10.5	10.5	10.5	10.5	10.56	1%
	Күн панельдері	0	0	0.0122	0.0266	0.0223	100%
	Батареялар	0	0.1011	0.1836	1.2939	0.696	100%
Павлодар	Жел станциялары	0	0	0.0331	265.55	1372.5	100%
	Күн панельдері	0	0	0.0169	0.0347	0.0344	100%
	Батареялар	0	0.1011	0.1836	1.2936	0.746	100%
Қарағанды	Газ турбиналары	189	329.33	1412	2831.3	5170.4	2636%
	Жел станциялары	48	48	228.61	2784.7	6397.3	13228%
	Батареялар	0	0.1012	0.1836	1.2929	2.0822	100%
Қостанай	Күн панельдері	0	0	0.0223	0.0467	0.1025	100%
	Батареялар	0	0.1011	0.1836	1.2943	0.696	100%
Қызылорда	Газ турбиналары	19	243.77	19.347	181.32	261.74	1278%
	Жел станциялары	0	9.5217	362.51	470.29	556.52	100%
	Күн панельдері	78	252.03	236.03	354.92	474.01	508%
	Батареялар	0	0.1057	0.1538	0.5352	0.9132	100%
Түркістан	Күн панельдері	169.42	480.17	2387	4027.8	4747.1	2702%
	Батареялар	0	0.1004	0.183	1.3739	31.624	100%
Батыс Қазақстан	Газ турбиналары	198	198	198	358.84	564.28	185%
	Жел станциялары	0	148.24	246.74	462.26	627.22	100%
	Күн панельдері	0	337.23	408.14	513.25	601.78	100%
	Батареялар	0	0.0366	0.0242	0.0965	0.1681	100%
Жамбыл	Жел станциялары	0	0	0.027	0.0986	9.2784	100%
	Батареялар	0	0.1007	0.1832	1.3259	3.8596	100%

Күрделі шығындар белгіленген қуатқа пропорционалды. Төмендегі графикте әр технологияның жылдық шығындары көрсетілген. Кеңейту қарастырылмаған технологиялар үшін құны жылға қарамастан бірдей болып қалады. Сондай-ақ, графикте жүктемені қалпына келтіру шығындары (Load) көрсетілген, бірақ бұл опция негізгі сценарийде қарастырылмаған. Сондай-ақ, жүктемені қалпына келтіру шығындарының болмауы орнатылған генерациялау қуаты мен сақтау технологиялары электр энергиясына деген қажеттілікті толығымен қамтамасыз ететіндігін көрсетеді, өйткені әйтпесе жүйелік оператор желіні теңестіру үшін осы шараға жүгінуі керек еді. Электр желілеріне техникалық қызмет көрсету және салу шығындары шамалы өсуде,бұл 2030 жылға дейін желілерді салу оңтайлы екенін білдіреді.

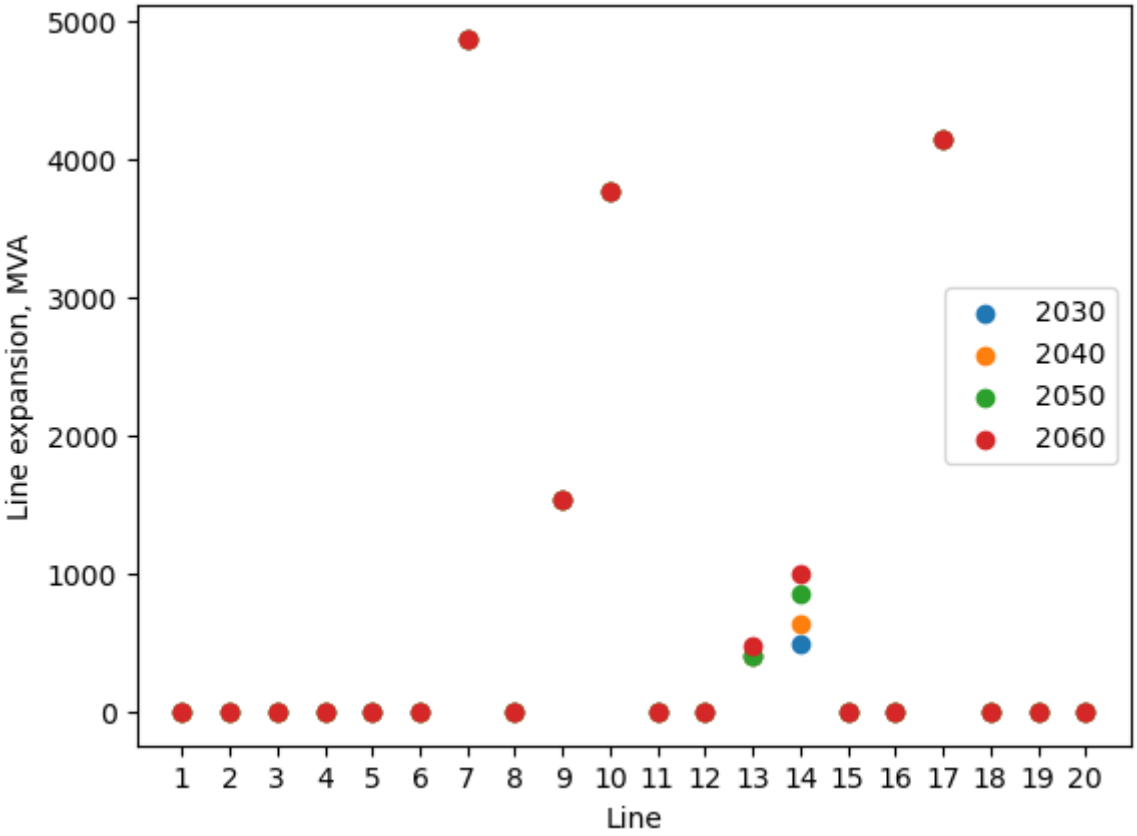
3.2.4 сурет жылдық жиынтық шығындардың өсу кестесін көрсетеді. Бұл график оңтайландырудың әр жылын бөлек модельдеу арқылы жүзеге асырылды, сондықтан артық құнын көрсетеді. Көп кезеңді модельдеу кезінде әр түрлі уақыт бөліктерінде генерацияны орнату арқылы күрделі шығындар азаяды деп күтілуде.



Сурет 3.2.2. Әр технологияға жылдық күрделі шығындар



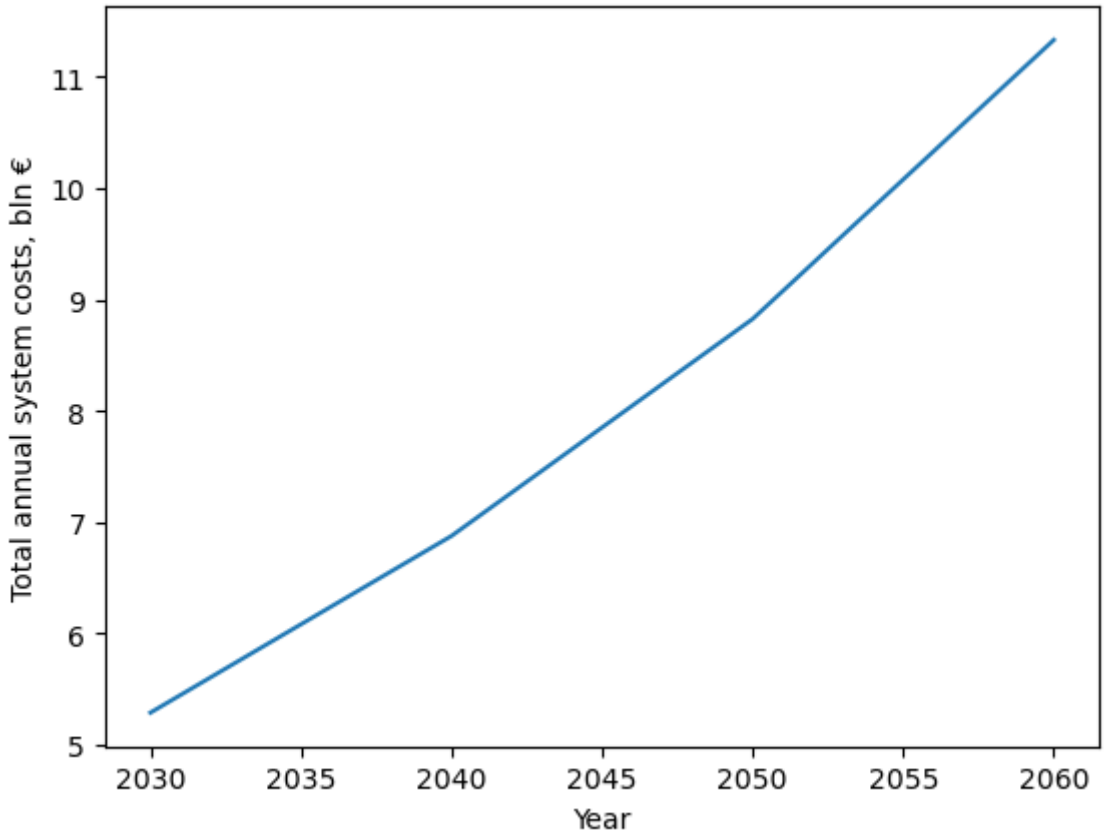
Сурет 3.2.3. Электр энергиясы секторының CO2 шығарындыларының жылдық көлемі.



Сурет 3.2.4. Өңірлер арасындағы электр беру желілерінің өткізу қуатын оңтайлы ұлғайту.

Жоғарыдағы суретте қай сызықтар жыл бойынша өткізу қабілеттілігін арттыруды қажет ететіні көрсетілген. Өткізу қабілеттілігін барынша арттыру Алматы және Жамбыл, Алматы және Қарағанды, Қарағанды және Павлодар облыстары арасындағы 7, 10, 17 – жолдарда талап етіледі (3.1.10-суретті қараңыз). Бұл тренд Алматы және Қарағанды облыстарында ЖЭК-тің айтарлықтай өсуіне байланысты, олар басқа генерациялар мен жүктемелер есебінен теңгерімді талап етеді.

Сурет 3.2.5. әрбір модельденген жылы CO2 шығарындыларының жалпы санын көрсетеді. Электр энергиясына деген қажеттілікті арттыру арқылы шығарындылар саны да артады, бұл негізгі сценарийде күтіледі. 2040 жылдан бастап көмірге қарағанда экологиялық таза ЖЭК пен газдың өндірістік қуатын арттыру арқылы шығарындылардың өсу қарқынының айтарлықтай төмендеуі байқалды..



Сурет 3.2.5. Жылдық жалпы күрделі шығындар.

3.3. Қорытынды

PyPSA-бұл энергетика мен электр энергетикасын модельдеудің белсенді дамып келе жатқан ортасы. Ол мөлдірлік пен пайдаланушыға ыңғайлылықты қамтамасыз етеді, бұл оны модельдеу қауымдастығы арасында танымал етеді. Қазақстан үшін PyPSA моделі тек әзірлеу сатысында, бірақ қазірдің өзінде тапсырманы тұжырымдау тұрғысынан өзінің әмбебаптығы мен икемділігін көрсетеді. Ел мен Орта Азия аймағын декарбонизациялауға қатысты оңтайлы саясатты шығару үшін әртүрлі сценарийлерді модельдеуге және салыстыруға болады.

Базалық сценарийді модельдеу Қазақстанда ЖЭК дамыту үшін орасан зор әлеует бар екенін және Қазақстан қолда бар ресурстар есебінен электр энергиясына өсіп келе жатқан қажеттілікті қамтамасыз етуге қабілетті екенін көрсетеді. Сондай-ақ, нәтижелер ЖЭК-тің әртүрлі түрлері бар аймақтар арасындағы қуат ағындарын қамтамасыз ету үшін инфрақұрылымды нығайтуға капитал салу қажеттілігін көрсетеді. Қазақстанның бүкіл аумағындағы аккумуляторлық батареяларға салынған шағын салымдар теңгерімге үлес қоса алады. Электр энергетикасының негізгі сценарийіндегі шығарындылар 2060 жылға қарай артады деп күтілуде.

Қазақстандағы PyPSA пайдаланушылары үшін модельдеу дәлдігін арттыру міндеттерінің бірі-нақты және өзекті деректер мен шынайы сценарийлерді қамтамасыз ету.

PyPSA қолданудың кең әлеуетіне ие, алдағы жұмыстарда экономиканы электрлендіру ескерілетін көп кезеңді модельдеуді және таза нөлдік сценарийді модельдеуді енгізу жоспарлануда. Қазақстан үшін Pypsa-мен одан әрі жұмыста көлік, индустрия, ТКШ және т.б. секторларды қоса алғанда, Еуропа үшін бұрын жасалғандай энергетиканың барлық секторын модельдеу мүмкіндігі бар.

4. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

[1] Altdorfer, F., (1981), "Introduction of price elasticities on energy demand in MARKAL", Memorandum No 345, KFA, Julich, July 1981.

[2] Berger, C., R. Dubois, A. Haurie, E. Lessard, R. Loulou, and J.-Ph. Waaub (1992), "Canadian MARKAL: an Advanced Linear Programming System for Energy and Environment Modelling", INFOR, Vol. 20, 114-125, 1992.

[3] Brooke, A, D. Kendrick, A. Meeraus, and R. Raman, 1998, The Solver Manual of the GAMS: A USER'S GUIDE, December 1998.

[4] Chen, K., M. Crucini (2012), "Comparing General and Partial Equilibrium Approaches to the Study of Real Business Cycles", Vanderbilt University Research paper, June 2012 (kan.chen@vanderbilt.edu, mario.crucini@vanderbilt.edu)

[5] Dantzig, G.B. (1963), Linear programming and Extensions, Princeton University Press, Princeton, New-Jersey, 1963.

[6] European Commission, The GEM-E3 Model, General Equilibrium Model for Economy, Energy and Environment, https://ec.europa.eu/jrc/en/gem-e3/model.

[7] G. Goldstein, G., 1991, “PC-MARKAL and the MARKAL User’s Support System (MUSS)”, BNL 46319, April 1991

[8] IPCC, 2007, Climate Change, Fourth Assessment Report, WG III: Mitigation, B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, L. Meyer, editors, Cambridge: Cambridge.

[9] Kanudia, A., R. Gerboni, R. Loulou, M. Gargiulo, M. Labriet, E. Lavagno, R. De Miglio, L.Schranz, G. C. Tosato, “Modelling EU-GCC energy systems and trade corridors: Long term sustainable, clean and secure scenarios”, International Journal of Energy Management, 7, 2, 2013, 243 – 268.

[10] Loulou, R., and A. Kanudia (1999), “Minimax Regret Strategies for Greenhouse Gas Abatement: Methodology and Application”, Operations Research Letters, 25, 219-230, 1999.

[11] Brown, T., Hörsch, J., & Schlachtberger, D. (2018, January 16). PyPSA: Python for Power System Analysis. Journal of Open Research Software; Ubiquity Press. https://doi.org/10.5334/jors.188.

[12] Victoria, M., Zhu, K., Brown, T., Andresen, G. B., & Greiner, M. (2020). Early decarbonisation of the European energy system pays off. Nature Communications; Nature Portfolio.https://doi.org/10.1038/s41467-020-20015-4.

[13] Zeyen, E., Hagenmeyer, V., & Brown, T. (2021). Mitigating heat demand peaks in buildings in a highly renewable European energy system. Energy; Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120784.

[14] Glaum, P. (2022). Enhancing the German Transmission Grid through Dynamic Line Rating. arXiv.org. https://arxiv.org/abs/2208.04716.

[15] Parzen, M., Abdel-Khalek, H., Fedotova, E. V., Mahmood, M., Frysztacki, M., Hampp, J., Franken, L., Schumm, L., Neumann, F., Poli, D., Kiprakis, A., & Fioriti, D. (2023, July 1). PyPSA-Earth. A new global open energy system optimization model demonstrated in Africa. Applied Energy; Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121096.