

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті



А.Б. Бекбаев, Е.А. Сарсенбаев, А.А. Жуматова

ЭНЕРГЕТИКА НЕГІЗДЕРІ

Университеттің Оқу-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2021

ӘОЖ 621.31 (075.8)

ББК 31 я73

Б 39

Пікір жазғандар:

Койишиев Т. К., физ.-тех. фак., «Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика» каф. проф., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

Утешкалиева Л. Ш., техн. ғыл. канд., аға оқытушы, Г. Даукеев атындағы АЭБУ;

Хидолда Е., техн. ғыл. канд., қауымдастырылған проф., Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ

Сәтбаев университеті Оқу-әдістемелік кеңесінің 2021 ж. басылым жоспары бойынша басылды

Б39 А.Б. Бекбаев, Е.А. Сарсенбаев, А.А. Жуматова Энергетика негіздері: Оқу құралы. – Алматы: Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2021. – 270 б.

Сурет 92. Кесте 14 Библиограф. – 9 атау.

ISBN 978-601-323-266-9

Жаңғыртылмайтын және жаңғыртылатын энергия көздері, олардың сипаттамалары туралы ақпарат берілген; жылу техникасының негіздері баяндалған: техникалық термодинамиканың ережелері және жылу беру негіздері, жылу электрстанциялары мен газ құбырлары қондырғыларының және басқа да электрстанцияларының схемалары мен технологиялық процестері қарастырылған.

Жылу электр орталығының негізгі жылу жабдықтарының жұмыс істеу принциптері келтірілген: бу және ыстық су қазандықтары, бу турбиналары, жылумен жабдықтау жүйесінің жабдықтары және электр жүйелері мен кіші энергетика жөнінде мәліметтер берілген.

Жоғары оқу орындарының энергетика мамандықтарының студенттеріне арналған. Кітап тиісті мамандықтардың техникалық мектептерінің оқушылары үшін, сондай-ақ энергетика және өнеркәсіптік кәсіпорындардың жұмысшылары үшін де пайдалы болуы мүмкін.

ӘОЖ 621.31 (075.8)

ББК 31 я73

ISBN 978-601-323-266-9

© Бекбаев А. Б.,
Сарсенбаев Е.А.,
Жұматова Ә. А., 2021
© ҚазҰТЗУ, 2021

Алғы сөз

Бүгінгі қоғам өмірін электрэнергиясыз көз алдына елестету мүмкін емес. Себебі адамзат тіршілігінің әрбір бағытында электрэнергияны пайдаланылады.

Электрэнергияның тұтынушылар арасындағы «әйгілігі» қазіргі кезде өте жоғары және әрі қарай да өсуде. Себебі электрді – көп мөлшерде өндіруге, жинақтауға, қашық аралыққа беруге және әртүрлі тұтынушылар арасында оңай таратуға болады. Электрді энергияның басқа түрлеріне көп қиындықсыз түрлендіруге болады және ол оны тұтынушылар үшін ыңғайлы универсал энергия тасымалдауыш етеді.

Энергия тұтыну өрісінде электр экологиялық тұрғыда ең таза энергия тасымалдауыш болып саналады және барлық өндірістік салаларда «табиғатты қорғаушы» технологияларды дамытуға әсерін тигізеді.

Электрэнергиясын өндіру мен оны тұтыну – уақыт ағымындағы үздіксіз және бірыңғай процесс. Электрэнергиясын өндіру мен оны тұтыну бір мезгілде өтуі қажет, сондықтан да өзара байланысқан аймақтық энергия жүйелерінің орнықты жұмыс істеуі, олардың әрқайсысының өзара қуаттық резервтік рөл атқаруымен қамтамасыз етіледі.

Оқу құралында электр өндіруде қолданылатын құрылғылардың жұмыс істеу принциптері, құрамы, электрлік схемалары және негізгі теориялық мәліметтер келтірілген.

Электрэнергиясы арнайы кәсіпорын электрстанциясында өндіріледі. Онда электрэнергиясы отынның химиялық энергиясын, су, жел, күн, энергиясын, атом энергиясын және т.б. энергия көздерін түрлендіру арқылы өнеркәсіптік, коммуналдық, тұрмыстық және т.б. тұтынушыларға жеткізіледі.

Кітаптың басқа оқулықтардан айырмашылығы мұнда материалдар жай ғана баяндалмай, оған қоса энергетика мәселелерінің проблемалары мен перспективасы туралы да сөз

көтерілген. Сонымен қатар қазіргі энергетика дамуының жолын болашақта энергетик боламын деген оқушыларға анық көрсету мақсатында энергетика жүйесі дәстүрлі энергетика, кіші энергетика, ЖЭК пайдалану секілді анық тарауларға бөлініп көрсетілді. Әрбір тарауларда электрстанциялар түрлерінің жұмыс істеу принципі мен негізгі сипаттамалары жөнінде қажетті көлемде түсінік берілді.

Оқулықтың материалдары профессор А. Бекбаевтың «Энергетика негіздері», «Жалпы энергетика», «Энергетикалық қондырғылар» пәндерінен оқыған көпжылдық лекцияларын негіз ете отырып, басқа авторлардың толықтыруларымен жинақталды.

ҚАБЫЛДАНҒАН ҚЫСҚАРТУЛАР

АЭС	– Атом электрстанциясы
ІЖӨ	– Ішкі жалпы өнім
ЖЭК	– Жаңғыртылатын энергия көздері
ЖЭС	– Жел электрстанциясы
ЖЭҚ	– Жел электрқондырғысы
ГШЭС	– Гидрошоғырландырушы электрстанция
ГеоТЭС	– Геотермальды электрстанция
МАЭС (ГРЭС)	– Мемлекеттік аймақтық электрстанция (КСРО кезінде)
ГТҚ	– Газтурбиналы құрылғы (қондырғы)
ГЭС	– Гидравликалық электрстанция
ЕО	– Еуропалық одақ
ЕЭС	– Еуропалық экономикалық бірлестік
ҮКШ	– Үй-коммуналдық шаруашылық
БҚПК	– Белгіленген қуатты пайдалану коэффициенті
П.Ә.К.	– Пайдалы әсер коэффициенті
КЭС	– Конденсациялық (жылулық) электрстанция
ЭБЖ	– Электр беру желісі
АЭБХА (МАГАТЭ)	– Атом энергетикасы бойынша халықаралық агентствo
МГД	– Магнитогидродинамикалық (генератор)
МЭ	– Мұнайлық эквивалент
МЖЭС	– Мұхиттық жылу электрстанциясы
БГҚ	– Бугаздық қондырғы
КҚЭС	– Көтерілу – қайту электрстанциясы
АЖЖ	– Аса жоғары жиілікті
СТГ	– Сұйытылған табиғи газ
КЭС	– Күн электрстанциясы
ҚТҚ	– Қатты тұрмыстық қалдық
ЖШЭ (ТВЭЛ)	– Жылушығарғыш элемент
ШОТ	– Шартты отын тоннасы
ЖЭС	– Жылу электрстанциясы
ЖЭО	– Жылу электрорталығы
ЭҚК	– Электрқозғаушы күш

1. ЭНЕРГЕТИКА МЕН ЭЛЕКТР ЖӨНІНДЕ ЖАЛПЫ ТҮСІНІК

1.1. Басталу және даму кезеңдері

Мысырлықтар өте іскер адамдар еді, олар әсіресе құрылыс пен қолөнерде зор жетістіктерге жетті. Олардың арасында өмір сүрген ғұлама ойшылдар қоршаған әлем туралы өз ілімдері мен идеяларын ұсынды [1].

Мысырлық абыздар – астрономдар аспанды ғаламат сағат деп санап, ай мен жұлдыздардың орналасуына сәйкес қайсыбір діни мерекелердің мерзімін біліп отырды. Олар Мысырдағы ауыл шаруашылығына қолайлы кезеңді, яғни Нілдің жыл сайынғы тасу мерзімін анықтауды білді.

Астрономиядан игерген білім-ілімдерін абыздар бірнеше күнтізбелер жасауға пайдаланды. Ал, жыл 365 күннен тұратын алғашқы күнтізбені Имхотеп есімді мысырлық абыз енгізген деген сөз бар. Месопотамия (қазіргі Ирак) жері ежелгі бірнеше өркениеттің бесігі болды, оның ішінде Шумер мен Вавилон да бар. Олар білімдар астрономдар мен математиктер болды, зор храмдар-зиккураттар тұрғызды.

Шумерлер айырықша жазуды – сына жазуды ойлап тапты. Ол әліпби жазуының бір түрі бола отырып, жеке дыбыстарды білдіруге абстракті таңбаларды пайдаланды. Шумерлер санаудың екі жүйесін де қолдана білді. Оның бірі 10 санына негізделген ондық жүйе болса, ал екіншісінің негізіне 60 саны алынды [1].

Вавилондық астрономдар күннің тұтылуына, Айға, Шолпан мен Меркурийге көптеген бақылаулар жүргізді. Осы ілімдер кейіннен ежелгі грек астрологиясының іргетасын қалады.

Вавилондықтар планеталардың қозғалысын көпжылғы бақылауларға сүйене отырып жасалған кестелерді пайдаланып, планеталар мен жұлдыздардың қозғалысын анықтай алды. Олар осы қозғалыстардың жәрдемімен күнтізбені нақтылауға әрі болашаққа болжам жасауға ұмтылды.

Математик және астроном Фалес барлық дене мен заттың басты құраушысы – су, ал Жер мұхитта жүзіп жүрген диск түрінде болады деп пайымдады. Фалестің еңбектері өте құнды,

өйткені ол күрделі де жұмбақты құбылыстарға табиғи-ғылыми түсінік беруге талпынды. Айталық, Фалес зілзаланы құдайлардың қаһарлануынан емес, мұхиттардағы ыстық сулардың атқылауынан деп тұжырымдады.

Платон «Идеялар туралы ілімді» жасады, ал оның арабшаға аудармасы бізге дейін жеткен. Осы ілім келесі ғасырлардың ойшылдарына ықпал етті, өйткені ол философияны дінмен өзара байланыста қарастырды. Платон біздің сезім мүшелеріміз қабылдайтынның (көру, есту, дәм, иіс, сезіну) барлығы – заттар мен құбылыстардың тек сырт жағы деп түсіндірді. Олардың шынайы мәнін біз көре де, сезіне де алмаймыз, оған тек ақыл-оймен ғана жете аламыз деп есептеді [1].

Аристотельдің көзқарасы Платонның ілімінен мүлдем бөлектұғын. Аристотель мүмкіндігінше көп ақпарат алу қажет деп санады. Арабтардың арқасында бізге жеткен оның еңбектері қазіргі ғылыми зерттеулер негізін баяндайды.

Аристотель аспандағы және жердегі барлық денелердің өзгеріссіз күйін құдайлар алдын-ала айқындап қойған деп санады. Аристотель бойынша бір дененің күйінің өзгерісі жүйедегі екінші дене күйін өзгертегіні сөзсіз. Ол «дүниетану сатыларын» негіздеді, онда тірі дүние жансыз денелерден, мысалы тастан жоғары тұратыны айтылған. Адам хайуандардан жоғары тұрады, ал барлық дүниетанымды құдайлар басқарады. Аристотель бойынша, әлем бірнеше сферадан құралып, олар бір-біріне кіріге орналасады да, сфералық жердің төңірегінде айналады. Жерге ең жақыны атмосфера, оған жер, су, ауа және от кіреді. От сферасының бетінде эфирден (грек. – шұғыла) тұратын ерекше аймақ болады. Ал, жоғарырақ планеталар мен жұлдыздар орналасқан сфералар. Ең шеткі сфера барлық дүниетаным жүйесінің қозғалысын басқарады. Аристотельдің ғылымға қосқан ең басты үлесіне, оның тиянақты бақылауға және жан-жақты жіктеуге мән бергенін жатқызуға болады.

Қисықтардың ұзындығын және денелердің ауданы мен көлемін өлшеу үшін Архимед геометрияны қолданды. Ол әртүрлі конструкцияларды, мәселен су көтергіш винтті ойлап тапты. Оны қабырғасы тесілген кемелерден су айдауға пайдаланды. Архимед винтінің принципі күні бүгінге дейін қолданылады.

Әл-Хайсам жарықтың линзадан сыну эффектісін зерттеп, жарық сәулелерінің әртүрлі ортадан, мысалы ауадан, шыныдан және судан өткенде сынатыны туралы тұжырымға келді. Осы идеяны XVII ғ. Кеплер мен Декарт пайдаланды. Әл-Хайсам «қара жәшікті» – бір қабырғасына кескін проекцияланатын камераны бірінші болып ойлап тапты. Ол «қара жәшікті» күн тұтылу кезінде Күннің кескінін алуға пайдаланды.

Гроссетест барлық ғылыми гипотезаларды тексеруге ерекше мән беріп отырды. Бұл орайда ол Аристотельдің бақылау мен зерттеуге сүйену керектігі жайлы өсиетіне сүйенді. Гроссетест әртүрлі, атап айтқанда астрономия және музыка тақырыбына жазды. Оның негізгі еңбектері оптикаға және жарықтың сынуына арналды. Бұл орайда ол араб оқымыстысы ибн әл-Хайсамның ізбасары болды [1].

1.2. Электрді зерттеудегі алғашқы эксперименттер

Біздің өмірімізде электр аса маңызды рөл атқарады. Оның екі түрі бар: статикалық заряд және ток. Электр әсері адам баласына ежелден белгілі. Бірақ XVIII ғ. соңына дейін адамдар тек статикалық зарядты ғана ала алды. Сонау арғы заманда электрді зерттеу үлкен қызығушылық тудырды. Тек XIX ғ. ғана оқымыстылар осы саладағы білімдерін біртіндеп кеңейтті.

1705 ж. ағылшын ғалымы Френсис Хоксби (1666–1713), егер іші вакуум шыны шарды үйкелесе, шар жарқырай бастайтынын байқады. Жарық көзі электр, ал шар электргенератор қызметін атқарады. Келесі бір ғалым Стефан Грей (1666–1736), өз тәжірибесімен электр көптеген материал, оның ішінде адам денесі арқылы да өтетінін дәлелдеді. Грей ішіне ток жіберілген сымға арқанмен ілініп тұрып, бірінші болып осы сым бойымен «жүріп» өтті.

1745 ж. неміс священнигі Эвальд фон Клейст (1700–1748) статикалық зарядты жинайтын әрі сақтайтын приборды ойлап тапты. Оны лейден банкасы деп атады, өйткені ол Лейден университетінде жасалған еді. Прибор бір қолмен ұстап тұратын шыны банка түрінде. Шынының ішкі қабырғасына Хоксби генераторына ұқсас генератормен жалғанған латунь сымның

көмегімен статикалық заряд жинақталады. Сымның екінші ұшы банкіге толтырылған суға салынады. Зарядталған банка зарядты сақтай алады, ал сымды біреу ұстаса, оны ток соғады.

Электрді зерттеушілердің ірі өкілінің бірі Бенджамин Франклин. 1752 ж. Франклин найзағай – электр заряды екенін дәлелдеді. Ол найзағай бұлтына металл пластинасы бар ауа *батпырауығын* ұшырды. Жай пластинаға түскенде, одан ұшқындар шашыраған. Бұл тәжірибе өте қауіпті, оны қайталамақшы болған ғалымды найзағай түсіп мерт қылған. Бірақ тәжірибе Франклинге найзағай бұлтында статикалық зарядтың болатынын, ал найзағай өте қуатты разряд екенін дәлелдеуге мүмкіндік берді. Сол жылы Франклин үй қабырғасына бірінші жайқайтарғышты орнатты. Жайқайтарғыш найзағайды тұтып қалып, оның разрядын үйге қауіпсіз жерге жібереді.

«Энергия» – ежелгі грек тілінен аударғанда «іс-әрекет» немесе «қимыл» мағынасын береді. Шындығында да адамзаттың барлық тіршілігі, оның іс-әрекеті энергияны тұтынумен және пайдаланумен тікелей байланысты. Сонау тылсым заманнан осы күнге дейінгі адамзат қоғамының тарихы – энергияның түрлерін іздеу, меңгеру және пайдалану жолдарының тарихы. Өзінің білек күші мен үй жануарларының бұлшық еттерінің күші, от жылуы, жел мен су қуаты, бу машинасының қуаты, ақырында, адам сенбес таңғажайып болып көрінген электр тогының іс-әрекеті – міне осындай энергия көздерін меңгере отыра, адам тек техникалық тұрғыда ғана дамымай, сонымен бірге әлеуметтік бағытта да даму үстінде болды.

Энергия бүгін планетамыздағы барлық адамдардың аузындағы сөз. Себебі электр энергиясын көп мөлшерде өндіруге, жинауға, қашық жерге тасымалдауға мүмкіндік зор. Электр тогы дегеніміз электр зарядтарының өткізгіш бойымен бағытталған қозғалысы. Янтарды (ескі грек тілінде янтарь – электрон деген сөз) жүнге үйкегенде электр зарядтары пайда болатынын біздің эрамызға дейінгі V ғасырда, грек ғалымы – антикалық және жалпыеуропалық философия мен ғылымның негізін қалаған ғалым Фалес Миетский ашқан. Шын мәніне

келгенде гректер адамзат тарихында электр зарядтарын шығаруды үйренген алғашқылар болып есептелінеді. Ал, адамдардың электрмен танысқанына мыңдаған жылдар болды. Бәрі найзағайдан, яғни атмосфералық электрден басталған еді. Адамдар найзағайдан қаншама қиянат көргенімен, біздің ата-бабаларымыз үшін тек найзағай ғана оттықтың көзі болатын. Олар алғашқы қуырылған еттің, піскен жеміс-жидектердің дәмдерін сол найзағайдан өртенген ормандар мен бақтардан татқан еді. Сонымен, еңбек пен от адамды адам етті, яғни адамның жер бетіндегі барлық тіршілігінің дұрыс бағытта дамуы электрмен байланысты.

Найзағайлы қара бұлт көбінесе экваториялды жағалауда жатқан елдерде көп болады. Тарихшылардың айтуынша, міне осындай жерлерде ертедегі адамдар тұрған белгілер табылған. Жер бетіндегі ең найзағайлы орын – Ява аралы. Онда жылдың 300 күнінде найзағай жарқылын байқауға болады.

Бұлтта шоғырланған зарядтар күші 50 кулоннан (Кл) аспайды, ал ондағы найзағай бойындағы токтың күші ондаған, жүздеген мың амперге (А) жетеді, ал зарядтың разряд уақыты микросекундтармен өлшенеді. Бұл кездегі бұлтта жиналған энергия шамасы аса үлкен болмайды. Ол бүгінгі күнгі теледиарды тек бір минут аралығында қамтамасыз ете алатындай ғана шамада. Ал оның қуаты ондаған миллион киловатқа жетеді. Найзағай арнасындағы температура 30000⁰ С дейін жетеді. Міне, біздің бабаларымыздың алғашқы «оттығын» осылай сипаттауға болады.

Электрдің адам кездестірген екінші көзі судағы балық болатын. Бүгінгі күнгі 20 мың белгілі балықтардың 300-ге жуығының бойында электрогенез бар екен. Электрогенез деп тірі ұлпаларда электрдің пайда болуын айтады. Ондай балықтар көбінесе Жердің тропикалық полюсіндегі мұхиттар мен өзендерді мекен етеді. Электрлі жыланбалық 1200 В кернеу, 1,2 А ток шығаруға мүмкіндігі бар. Электрлік жайын мен американдық жұлдызшалар 40...60 В және 50...60 А ток шығара алады. Ал, электрлік скат суда жәй қозғалғанның өзінде де 400 В-тан жоғары кернеу түзе алады. Электрлі ірі балықтар бойындағы күшті разряд жан-жануарларға және адам өміріне

көптеген қауіп-қатер туғызады. Айта кетер бір жай – бұл балықтардың ірілігі де таңғаларлықтай. Мысалы, скаттың ұзындығы 1,8 м, салмағы 90кг дейін, ал угорьдің ұзындығы 2 м, салмағы 20 кг жетеді.

«Күштіэлектрлі» балықтардың қайсыбірі дәмді тағам болып саналады. Амазонка алабы маңайындағы тұрғындар, мұндай балықтарды ұстау үшін және өздерін қауіптен сақтап қалу үшін тамаша айла тауып алған. Адамдар өзенге алдымен бір топ сиырларды айдап салып, олар өкіріп кейін қайтқанда, «разрядталған» балықтарды кәдімгі әдістерімен оп-онай-ақ аулап алып отырады.

Ескі гректер мен римдіктер, бүгінгі күні «электртерапия» деп аталатын емдеу әдісін, сол кездің өзінде-ақ қолданғандары туралы деректер бар. Электрлік скат, угорь, ауру адаммен бірге сулы бөшкенің ішіне орналастырылған. Қандай әсер болатынын көз алдымызға елестетуге болады! Алайда, адамдар ертеден бері барлық ауруларға ем болатын жан-жақты әдістерді әлі күнге дейін қолданып келеді. Бұл – акупунктура немесе инетығу. Қажетті эффектіге жету үшін, әртүрлі тәсілдермен ине кіргізуге болатын, адам денесінде 700-ге жуық нүкте нүкте бар. Инемен ұлпалық сұйық біріге отыра кәдімгі гальвани элементін құрады. Ондағы электрқозғауыш күш, иненің материалына сәйкес 0,77 ден 1,68 В болатыны зерттеу жұмыстарымен дәлелденген.

XVI ғасырда ағылшын дәрігері Гильберт (1544–1603) шыны, шайыр, күкірт т.б. заттардың да янтарьдікіндей қасиеті болатынын тапқан. Демек, осы аталған заттардың бойында үйкелістің нәтижесінде «бір нәрсе», жаңа қасиет – басқа заттарды өзіне тарту қасиеті пайда болады екен. Осы «бір нәрсе» электр немесе электр заряды. Гильберт ең алғашқы «электр» (орысша «электричество»), бұл сөз гректің «электрон», яғни «янтарь» деген сөзінен алынған) терминін енгізуші. Кейіннен де көптеген зерттеушілер электрстатикалық зарядтарды электремдеу үшін қолданғанымен, ешқандай нәтиже шықпады.

Эбонит таяқша алып, оны жүн матаға үйкесек, онда да заттарды өзіне тарту қасиеті пайда болады. Ал шыны таяқша алып, оны жібекке үйкелесек, ол да сондай қасиетке ие болады. Егер электрленген эбонит таяқшаны жіпке іліп қойып, оған

алдын ала электрленген басқа эбонит таяқшасын жақындатсақ, олардың бір-бірімен тебісетіндігі, ал шыны таяқшаны жақындатқанда, бір-бірін тартатындығы байқалады. Эбонит-шыны таяқшаларының бұлайша әрекет жасасуы олардағы электр зарядтарының әртүрлі екендігін көрсетеді. Зарядтардың түрлерін ажырату үшін Франклин 1747 жылы электр зарядтарының екі түрі болатындығын анықтады. Ол шыны таяқшаны жібекпен үйкегенде түзілетін зарядты «оң заряд», ал эбонит таяқшаны жүн матаға үйкегенде пайда болатын зарядты «теріс заряд» деп атауды ұсынды.

Денелерде электр зарядтарының пайда болу құбылысын былайша түсіндіруге болады. Барлық денелер атомдар мен молекулалардан, ал атомдар элементар бөлшектерден тұрады. Атом құрамындағы протондар мен электрондарда электр заряды бар, ал нейтронда заряд болмайды. Протон оң зарядталған деп есептелінеді. Бұл бөлшектердің әрқайсысының массалары бар, олар әртүрлі. Осыған сәйкес олар қоршаған ортаға әртүрлі әсер етеді және сол ортаның әсерінен өздері де әртүрлі қасиеттерге ие болады. Мысалы, электронның тыныштық массасы $m_e = 9,1082 \cdot 10^{-31}$ кг, протонның массасы электронның массасынан 1846 есе артық, яғни $m_p = 1846 m_e$, ал нейтронның массасы протон массасынан артық, яғни $m_n > m_p$. Осы бөлшектерге сыртқы күш әсер еткенде әрқайсысының инертті массалары әртүрлі болғандықтан, олар әртүрлі қырынан көрінеді. Зарядталған электрон мен протон әр типте өзара әсерлеседі.

Электрді зерттеуде келесі бір үлкен қадамды итальяндық Луиджи Гальвани (1737–1798) жасады. Ол Болон университетінде оқыған. Кейіннен осы университетте практикалық анатомия және гинекология кафедрасының меңгерушісі болып жұмыс істеген. Бұлшық ет және жүйке ауруларын емдеу үшін көптеген жылдар бойы электрдің тірі ұлпаға тигізер әсеріне зерттеулер жүргізген. Нәтижесінде 1791 жылы «бұлшық еттің жиырылу кезіндегі электр күші туралы трактатын» жарыққа шығарды. Өзі техника саласының маманы болмағандықтан, ол бұл еңбегінің ғылымда өз орнын алатынын және бағаланатынын күткен де жоқ. Барлық ізденушілерді бұл

еңбегімен танысып шығуға шақырды. Гальвани алдымен статикалық электрді тіркей алатындай, сезімтал «аспап» жасап шығарды. Оның бұл «аспабы» – жаңа ғана сойылған бақаның табаны еді. Санның нервтеріне электрстатикалық машинаны қосқанда, оның бұлшық еттері күрт жиырылады. Тура осындай реакция ол екі әртүрлі металл өткізгіштерді нерв пен табанға тигізген кезде де болған. Ақырында Гальвани, бақаның табанын жерге жалғап, нервтерге ұзын өткізгіш қосып қойғанда, аспан күркіреп найзағай ойнаған кезде табанның селт еткенін көрген. Бұл еріксіз алынған ең бірінші электрмагниттік толқын шығарудың биологиялық қабылдаушы еді. Тек 100 жылдан кейін, 1894 жылы ғана ағылшын физигі Оливер Лодж электрмагниттік тербелістерді тіркеу үшін когерерді қолданады. Оны кейіннен А. С. Попов дүниежүзіндегі алғашқы радиоқабылдағышты жасаған кезде пайдаланды.

Екі жеріне екі әртүрлі металл өткізгіштерді жалғағанда бақа табанының селт етуін, Гальвани өткізгіш арқылы табанның ішіндегі электрдің әсерінен ток өтеді деп түсіндірді.

Тек, жиырмасыншы ғасырдың елуінші жылдарында ғана мидың (электрэнцефалограф), жүректің (кардиограф) және адам денесінің басқа да мүшелерінің функциясын тіркейтін аспаптар қолданыла бастады. Кейінірек дененің аурумен ушыққан мүшелері іс-әрекетінің әртүрлі электрлік стимуляторлары пайда болды. Кейбір елдерде жазалау құралы ретінде электр орындық қолданылса, сенімсіздікті анықтау үшін – белгілі полиграф, яғни «өтірік детекторы» пайдаланылады. Бұл аспап арқылы, қойылған сұрақтарға жауап беру кезінде пайда болатын адам терісінің әрбір жерлеріндегі биопотенциалдар бір мезгілде жазылып алынады да бір-бірімен салыстырылады.

Алессандро Вольта қаншама уақыт күдіктеніп жүргенімен, Гальвани тәжірибелеріндегі электр тогының пайда болу себебін басқаша анықтады. Нәтижесінде ол алғашқы болып электр тогының едәуір қуатты көзін ашты. Осы сәттен бастап электртехника мен электрэнергетика құралдарын жасауда жаңа мүмкіндіктер туды.

1.3. Алғашқы энергия көздері

Ежелгі ойшылдардың бірі Фалес (б.д.д. 640–550) алғаш рет үйкелген янтарьдың жеңіл денелерді – мата кесігін, жіңішке заттарды т.б. өзіне тарту қасиетін сипаттады.

Көптеген мың жылдық ауқымында ежелгі адамдар найзағайдың жарқылы мен күннің күркіреуін аса қорқынышпен бақыласа да, сол кезеңдегі ойшылдар үйкелген янтарьдың тартылысын, «электр» балықтардың ықпалын және атмосферадағы күннің күркіреуінің табиғатының бір екенін түсіндіре алмады.

Көптеген дереккөздерді зерттей келе, 1600 жылға дейін электр құбылыстары саласында айтарлықтай жаңалықтар ашу бола қоймағанына көз жеткізе аламыз.

Ал, магнит құбылыстарына келсек, табиғи жеңіл магнит кесегінің темір заттарды өзіне тартуының тылсым қабілеті дүние жүзі бойынша – Азияда, Үндістанда, Қытайда, Орталық Америкада, Грекияда және Римде ежелгі аңыздар мен жазба дүниелерде ұшырасады. «Магнит» сөзін ежелгі табиғаттанушылар әртүрлі етіп түсіндіреді. Айталық, римдік оқымысты әрі жазушы Плиний (б.д. 23–79 жж.) өзінің 37 томдық «Табиғи тарих» атты еңбегінде мынадай аңызды келтіреді. Магнесс деген малшы аяғындағы шәркейінің (сандали) шегелері мен қолындағы таяғының темір ұшының Крит аралындағы таудың етегінде шашылып жатқан үлкен тастарға тартылатынын байқайды. Осы тастар Магнестің құрметіне «магнит» деп аталып, ал тарту құбылысы – «магнетизм» деп аталған дейді.

Ал, ежелгі грек ойшылы Платон (б.д.д. 427–347 жж.) «магнит» сөзі ежелгі грек провинциясы Магнезияға сәйкес шыққан, ондағы тұрғындарды «магнеттер», ал Магнезиядан шыққан тастарды «магниттер» деп атаған дейді.

Магнитті іс жүзінде пайдаланудың қызықты деректерін білуге болады. Көне үндістер сонау екінші мың жылдықта магнитті жараланған сарбаздардың денесінен жебенің темір ұштарын шығарып алуға пайдаланған. Кейбір қытай жазбаларында императорлардың сарайының маңына магнит

қақпаларды орнатып, киімінің астына металл қару тыққан адамдарды өткізбейтін тексеру жайлы айтылады (осы қақпалар адамдардың кейбір ғимараттарға және көпшілік шараларға кіруі кезінде металл іздегіштерді еске салады).

Қытайдағы мұражайлардың бірінде б.д.д. екінші мыңжылдыққа қатысты компас сақталған. Сонымен бірге, қытайлықтар «оңтүстік көрсеткіші» деп аталатын аспап жасап, онда беті оңтүстікке қаратылған, айналмалы магнитте орнатылған адам бейнесі салынған (өйткені сауда жолдары мен әскери жорықтар Қытайдың орталық аймағынан оңтүстік теңіздерге бағытталған).

XI ғ. еуропалықтар компасқа қытайлықтардан арабтар арқылы қол жеткізді, бірақ католик-капитандар инквизициядан қорқып оны құпия түрде ғана пайдаланды. Инквизиция өкілдері компасты «сиқыршылар жасаған шайтан аспап» деп бағалады.

Ежелгі оқымыстылар магниттің қасиетін аллатағала берген деп түсіндірсе, Фалес пен Аристотель магниттің темірді тартатын «жаны» бар деп есептеді.

Рим ақыны Лукреций (б.д.д. 99–55 жж.) екі мың жыл бұрын жазған өзінің атақты «Заттардың табиғаты жайлы» поэмасында магниттен «тұқым бөлініп» не «ток ағып», тас пен темірдің арасындағы ауаны ығыстырады да, пайда болған «бос кеңістікке» көзді ашып-жұмғанша темір орын тебеді деп сипаттады. Лукрецийдің қарадүрсін пайымына қарамастан, магниттің айналасына толтыратын «материалдық ағын» магниттік күш сызықтары мен магнит өрісінің бүгінгі ұғымын еске түсіреді.

Еуропалық табиғаттанушылардың бірқатар зерттеулеріне сәйкес XI–XIII ғғ. өзінде-ақ магниттің әр атас полюстері мен олардың өзара ықпалы, сондай-ақ магнит әсерінің әртүрлі денелерге (қағазға, ағашқа т.б.) таралуы тағайындалды. Италияндық Д. Б. Порто мен француз П. Перегрин магнит жебелерді дайындау тәсілін сипаттады, ал П. Перегрин компасты градуирленген шкаламен жабдықтады (1270 ж. шамасында).

Көптеген ғасырлар бойы магнит, жылу және электр құбылыстары айырықша сұйықтылықтың әсерімен түсіндірілді,

тек XIX ғ. 20-жылдарында атакты француз физигі А. М. Ампер алғаш рет магнетизмнің электрлік табиғатын дәлелдеп берді.

Магнетизм жайлы алғашқы іргелі еңбек – «Магнит, магнит денелер және үлкен магнит – Жер туралы» (1600) белгілі ағылшын ғалымы Королеваның лейб-медигі Вильям Гильбертке (1554–4603) тиесілі. Гильберт «әртүрлі құбылыстардың жасырын себептерінің» құпиясын ашқан 600-ден астам «тамаша» тәжірибелер жасады.

Өзінің көптеген замандастарынан Гильберттің ерекшелігі сол, ол магнит стрелкасының қозғалуына Жердің магнетизмі себеп болады, ол «үлкен магнит» болып саналады деп пайымдады. Оны бірегей тәжірибемен дәлелдеді, яғни магнит темірден кішігірім шар – «шағын жерді» жасап оны «терелла» деп атады. «Терелланың» бетінің әр тұсында магнит стрелкасы жер магнетизмінің өрісіндегідей қалыпта орнатылды. Осы мысалдың өзі эксперимент көмегімен ұлы ғалымдардың ашқан жаңалығына дәлел болды. Гильберт сонымен бірге электр құбылыстарын да зерттеді, үйкелген кезде электрлік қасиетке жоғарыда айтылған янтарь ғана емес, өзге де денелер – күкірт, шайыр, тау хрусталі де ие болатынын дәлелдеді. Осы денелерді ол «электрлік», янтарьды сәйкес «электрон» деп атады.

Ғалым «электр күшінің дәрежесі» әртүрлі болатынын, ылғалдың үйкелген кездегі дененің электрлену қарқындылығын төмендететінін дәл тағайындады.

Неғұрлым озық ойлы жаратылыстанушылар Гильберттің туындысын зерттей отырып, «электр күшінің» пайда болуында үлкен әсер алу үшін жоғарыда айтылған денелерді өзара үйкеудің жаңа арнайы құрылғысын жасауға ұмтылды. Осындай «машинаны» бірінші рет ауа насосын ойлап тапқан белгілі өнертапқыш, Магдебург бургомистері Отто фон Герике (1602–1686) болды. 1650 ж. ол күкірттен «баланың басындай» шар жасап, оны ағаш штативке орнатылған темір оське отырғызды. Қолсаптың көмегімен шар айналып, алақаннан не шарға қолмен жабысқан мата кесегінен электрленді.

Герике жеңіл мамықтың алдымен шарға тартылып, кейін тебілетінін, оған қоса қараңғыда шар әлсіз жарқырайтынын байқады. Осы тәжірибелер алғаш рет 1672 ж. кітапта

сипатталды, бірақ бақыланған құбылысты Гери́ке де, оның замандастары да ұзақ уақыт түсіндіре алмады.

Тағы бір жұмбақ құбылыс – электр ұшқынын алғаш рет белгілі неміс ғалымы Г. В. Лейбниц 1672 ж. Герикенің машинасымен тәжірибе жасау барысында байқады.

Жаратылыстанушылар электрстатикалық машинаны бірте-бірте кемелдендіре бастады. XVIII ғ. бірінші жартысында күкірт шарды шынымен айырбастады (шыны неғұрлым қарқынды электрленеді), бірақ шарды не цилиндрді әзірлеу қиын, ал қыздырғанда жарылып кететіндіктен, оларды шыны дискімен алмастырып, оны серіппе арқылы жанасатын тері жастықшамен үйкеді. Электрленуді күшейту үшін кейінірек жастықшаны амальгамамен қаптады. 1744 ж. машина қосымша қажет тетікпен – кондуктормен толықтырылып, ол алғашында жібек жіпке, кейін оқшауланған тірекке орнатылған металл түтік түрінде болды. «Кондуктор» шыны дискіні үйкегенде пайда болатын электр зарядтарын жинақтауыш ретінде пайдаланылды. XVIII ғ. 60–70 жж. электрстатикалық машина жаңа тұрпатқа ие болды.

Кейбір өнертапқыштар көбірек эффект алу үшін үлкен машиналар жасай бастады. Англияда 1849 ж. дискісінің диаметрі 2 м 27 см болатын машина жасалып, ол бу машинасымен айналдырылды. Париж мұражайында дискісінің диаметрі 1 м 85 см болатын машина сақтаулы. Электрстатикалық машина медициналық мақсатқа пайдалануда қызығушылық тудырды (XVIII ғ. соңы мен XIX ғ. басы).

Электрмедицина саласында көшбастаушылардың бірі белгілі ғалым –энциклопедист Андрей Тимофеевич Болотов болды (1738–1833). Оның «электрицизм және электр машиналардың әртүрлі ауруды емдеу қабілеті жайлы қысқаша әрі тәжірибеге негізделген ескертпелер» (СПб, 1803) атты кітабында жасаған электрстатикалық машинасы және әралуан оригинал – «қарапайым әрі сенімді», оның ішінде шыны дискісінің диаметрі 20 см болатын «бөлме» және «жол» машиналары мен аспаптары жайлы жан-жақты баяндалған. Бұл машиналар адам денесінің «қиын» бөліктерін, атап айтқанда «құлақ», «ауыз» және т.б. дерттерді емдеуге арналған. Болатов

өз бетінше емделе алмайтын «қарапайым халықтың» ауруларын емдеуді ұсынды. Оның машинасы көп жөндеуді қажет етпей, екі жыл мерзім үзіліссіз жұмыс жасай алды.

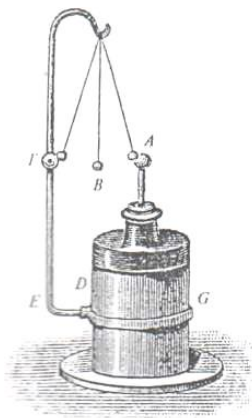
Электрстатикалық машиналармен жасалған тәжірибелер және жаратылыстану саласындағы табыстар жаңа жаңалықтарға әкелді. Әсіресе, Лондон корольдік қоғамының мүшесі С. Грейдің (1670–1736) және Париж ғылым академиясының мүшесі Ш. Ф. Дюфенің (1698–1739) еңбектерін айырықша атап өткен жөн. 1729 ж. Грей денелерді екі топқа: өткізгіштерге (мысалы, сым, металл талшық) және өткізбейтіндерге (жібек жіп, шыны тиянақ) бөлуді, ал «шыны түтіктің жеңіл заттарды тартатын электрлік қабілеті, өзге денелерге берілуі мүмкін» деп тұжырымдады.

Дюфе алғаш рет (1733–1738) электрдің «шынылық» және «шайырлық» екі тегін байқап, әр аттас зарядтардың тартылатынын, ал бір аттастардың –тебілетінін тағайындады. Ол іс жүзінде кеңінен қолданылған, электрленгенде алшақтайтын ілінген екі жіп түріндегі электроскоптың алғашқы нұсқасын жасады. Оның өткізгіш бойымен «электрдің тез таралатын» ұйғарымы өте-мөте маңызды. Эксперимент пен бақылау негізінде электр құбылысы теориясын жасауда және атмосфералық электр ерекшелігін танып білуде алғашқы қадамдар осылай жасалды.

1745 жылдың қысының сол бір күні Лейден қаласынан шыққан голланд профессоры Питер Мюсхенбруктің (1692–1761) есінде мәңгі қалды. Ол шынының электр өткізбейтінін біле отырып, шыны ыдысты суға толтырып, оған машинаның кондукторына жалғанған мыс сымның ұшын матырды. Ол зарядтар банкіде жинала бастайтынын дұрыс пайымдады. Оң қолына шыны банкіні алып, көмекшісінен машинаның шарын айналдыруды сұрады, содан кейін оның ойынша жеткілікті заряд мөлшері жинақталды-ау дегенде, Мюсхенбрук сол қолымен сымды кондуктордан ажыратты. Әрине, профессор қатты соққы алып, «шаруам бітті» деп ойлады. Өзінің Париждегі әріптесі Реомюрге 1746 ж. қаңтарда жазған хатында «жаңа әрі қауіпті тәжірибені қайталамау керектігін» және «мұндай қауіпке енді Францияның тәжі үшін де бармайтынын» жазды.

Осылайша Лейден банкісі жасалды (Лейден қ. атымен), ол қарапайым конденсатор түрінде болып, біршама кемелдендірілгеннен кейін, маңызды электртехникалық құрылғыға айналды.

Кейінгі онжылдықта лейден банкісінің құрылымы жетілдірілді, алдымен су бытырамен алмастырылды, ал сыртқы беті жұқа қорғасын пластиналармен астарланды, содан кейін ішкі және сыртқы беттері қалайы фольгамен қапталды (1.1-сурет). Физиктердің зерттеулері мына шешімді тұжырымдады: банкіде жинақталатын электр мөлшері астардың мөлшеріне пропорционал, және оқшаулауыш қабаттың қалыңдығына кері пропорционал.



1.1-сурет. Лейден банкісі

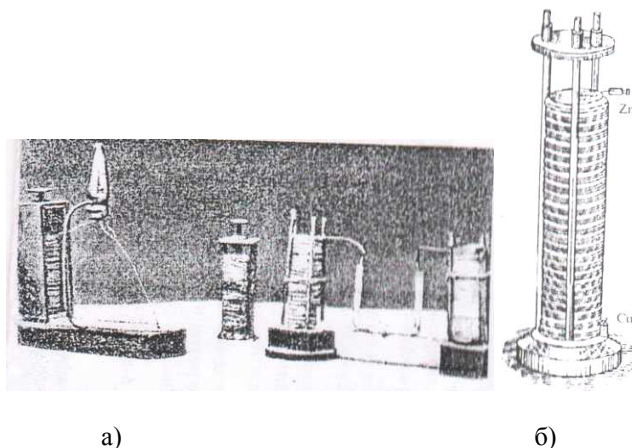
Екі жүз жылдан асса да, конденсатор күні бүгінге дейін осы заманғы электртехникалық және радиоэлектронды схемалардың негізгі элементтерінің бірі болып саналады.

1792–1795 жж. Вольта тәжірибе жүзінде, өзі құрастырған сезімтал электрскоп көмегімен «жанасқан екі металл өзара электрленетінін» дәлелдеді. Бірегей тәжірибелері негізінде Вольта контактілік кернеу заңын тағайындап, потенциалдардың контактілік айырмашылығын өлшеу арқылы, белгілі «Вольта қатарын» жасады, онда металдар мынадай қатармен орналасты:

мырыш, қорғасын, темір, мыс, платина, алтын, күміс, сынап. Олардың әрқайсысы кез-келген келесісімен жанасқанда оң, ал келесісі теріс зарядқа ие болады, мысалы темір (+)/мыс (-), мырыш (+)/күміс (-). Екі металдың арасында туындайтын күшті Вольта электрқоздырғыш не электрқозғауыш деп атады. Бұл күш электрді «ығыстырып» соның нәтижесінде металдар арасында кернеу айырмашылығын тудырады, ал қатарда орналасқан металдар бір-бірінен алшақ болса, осы кернеу айырмашылығы да үлкен.

Эксперименттік жолмен ол өзінің «баған» конструкциясына қол жеткізді.

«Бағанның» екі шетіндегі металл пластинкаларының арасында туындайтын кернеу пайдаланылған пардың санына пропорционал болады (1.2-сурет). Осылайша 1799 жылы атақты «вольта бағаны» жасалды.



1.2-сурет. Вольта бағаны: а – аспаптың сырт көрінісі;
б – көп тараған «вольта бағанының» схемалық бейнеленуі

Ол сонымен бірге өз аспабының тағы бір түрін – «шәшкелі» батареяны жасады (1.3-сурет). Күкірт қышқылы құйылған банкілердің оң жағына мырыш, ал сол жағына күміс пластинкалар батырылады. Көршілес банкілерден әр текті пластинкалар «өткізгіш доғамен» қосылады.



1.3-сурет. Вольттың шәшкелі батареясы

«Вольта бағанының» жасалуы электр құбылыстарына деген зор қызығушылық тудырып, электр тогының жылулық, химиялық, магниттік, жарық әрекеттерінің маңызды ашылуларына интермелеп, электртехниканың көптеген бастамасын қалады.

XIX ғасырдың алғашқы жартысындағы ұлы физиктердің арасында академик Василий Владимирович Петровтың (1761–1834) лайықты орны бар.

Гальвани мен Вольтаның жаңалықтарымен таныса отырып, Петров неғұрлым қуатты алып «наипаче», батарея жасау қажеттігі туралы шешімге келді. «Оның алып «наипаче»» батареясы 1802 жылы сәуірде дайын болды; ол мыс және мырыш құтылардың 4200 элементінен (немесе 2100 мыс-мырыш элементтерінің жұбынан) құрылып, үлкен төрт бөлімге бөлінген ағаш жәшікке орнатылды. Жәшік пен бөлгіш қаламаның қабырғалары сургуч лакпен және майланған қағазбен қапталды. Батареяның барлық элементтерінің жалпы ұзындығы 12 метр болып, ол әлемдегі ең ірі уникал электр тогының көзі болды (Еуропада қолданылатын вольта бағандары 100-120 элементтен тұратын). Элементтердің әр қатары тізбектей жалғанды.

Батареямен тәжірибе кезінде «әртүрлі шамадағы ұшқын мен жарықтылықты» көрсеткен көптеген физиктерден айырмашылығы ғалым жаңа анықтаманы – айқын ақ түсті «жалын» терминін қолданды. Алғаш рет электр жарығын іс жүзінде – үлкен кеңістікті («қараңғы үй») жарықтандыру мүмкіндігін нақты көрсетті.

Өз жаңалығымен Петров өз дәуірінен жарты ғасырға озып кетті, электр доғалық шамдар XIX ғасырдың 50-жылдарында ғана қолданысқа енгізілді.

Василий Владимирович Петровтың өз батареясының параметрлерін анықтау үшін өлшеуіш аспаптары болмады. Сондықтан Петров өзін вольтметрге айналдырып, қол саусақтарының терісін тіліп, жүйкесінің ашық талшықтарымен кернеудің әсерін мөлшерледі. Ол осылайша электр доғасын алуға көз жеткізуі керек болды.

Өлшеудің бүгінгі күнгі жаңа әдістерін пайдалану барысында алып «наипаче» батареяның қысқыштарындағы кернеудің 1650–1700 В, ал максимал пайдалы қуаттың 75 Вт, қысқаша тұйықталу тогының 0,2 А-болғаны дәлелденді. Бұл сол кезде ойға кірмейтін жоғары кернеулі ток көзі еді. Ол ғалымға электр доғасын алуға мүмкіндік берді.

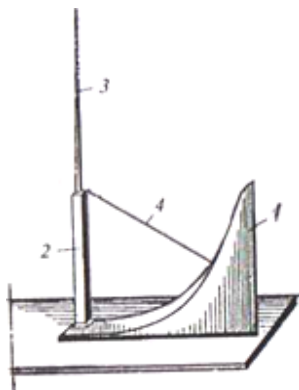
1.4. Электрдің табиғаты

Жүздеген жылдар бойы найзағай мен күнкүркіреудің себебін ешкім білмеді. Олар храмдар мен қоңырау мұнараларын қиратты, адамдар мен жануарларды мерт қылып, қорқыныш тудырды.

XVIII ғ. орта шенінде электр құбылысын зерттеген көптеген физиктердің еңбектерінде, найзағай күші жағынан зертханалық тәжірибелерден байқаған электр ұшқынынан мыңдаған есе асатын, атмосферадағы зор разряд деп сипатталды.

Осы проблемаларды шешу жолына Петербург академиктері М. В. Ломоносов пен Г. В. Рихман және американдық ғалым Б. Франклин айтарлықтай үлес қосты.

Георг Вильгельм Рихман өзі «электр көрсеткіш» (1745) деп ат қойған атмосферадағы электр зарядының қарқындылығын анықтайтын өлшеуіш аспапты жасаған бірінші ғалым болды. Ағаш тұрғыға металл таяқшамен қосылған металл сызғыш тік бекітілді (1.4-сурет).



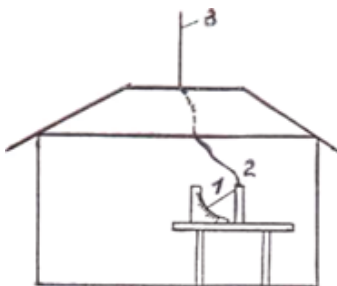
1.4-сурет. Рихманның «Электр көрсеткіші»: 1 – бөліктері бар ағаш квадрат; 2 – металл сызғыш; 3 – металл бет; 4 – кенеп жіп

Сызғышқа ұзындығы «2 ½ лондондық дюйм болатын кенеп жіп ілініп, оған қарсы «градус» бөліктері бар «ағаш квадрант» бекітілді. Зарядтар «сызғышқа» келгенде жіп ауытқып, электрленген жіптің ауытқуы бойынша «электр күшінің» шамасын бағалауға болады. Рихманның «көрсеткіші» әлемде бірінші тікелей бағалайтын электрөлшеуіш аспап болды және қазіргі электрметрлердің алғашқы нұсқасы болып саналады. Рихман оны лейден банкісімен жалғап тасымалданатын етіп жасады. Бірнеше жылдан кейін Рихман «қоңыраулы» аспаптың конструкциясын жасап, шылдыры арқылы «күн күркіреу материясының бар екендігін» тіркеп отырды.

Ломоносов пен Рихман біріге отырып дүниежүзінде бірінші рет атмосфералық электрді бақылауға және зерттеуге арналған бірегей орнықты қондырғыны жасап, оны «күркіреу машинасы» деп атады (1.5-сурет).

Бұл машинаның негізгі бөлігі Рихманның электр көрсеткіші болды. Үйдің шатырына 1 – электр көрсеткішке, 2 – сыммен жалғасқан 3–металл стержень «жай қабылдағыш» қойылды. Стерженнің төменгі ұшы қондырғыны жерден оқшаулайтын мыс ұнтақ толтырылған шыны стақанға салынды. Б. Франклиннің «электр жылананан» және өзге де зерттеушілердің аспаптарынан «Күркіреу машинасының» принциптік түрде айырмашылығы

болды, өйткені ол атмосферадағы электр мөлшерінің өзгерісін кез-келген ауа райы кезінде және күн күркіреу болмағанда да бақылауға мүмкіндік берді.



1.5-сурет. «Күркіреу машинасының» схемасы:

1 – электрлік көрсеткіш; 2 – байланыс сым; 3 – үй шатырындағы металл стержень

1753 ж. жазда Ломоносов пен Рихман «күркіреу машинасын» пайдалана отырып, Петропавловск қамалының маңында, көптеген адамдардың алдында найзағайдың электр табиғатын дәлелдеу және атмосфералық электр туралы жаңсақ пікірді жоққа шығару үшін барынша бірегей эксперимент жасады.

«Санкт-Петербург хабаршысы» газетінде (1753 ж. №45) осы оқиғаны жан-жақты етіп жазып, тәжірибе нәтижесін «төтенше» деп атады. Су жиегіне «зеңбіректердің бір топ батареясын» қойып, атыстың дабылы «аспанды күңіретті», бірақ «электр көрсеткіш» ештеңені көрсетпеді. Ал, «көкжиектен қара бұлт көрініп, найзағай ойнамаса да, күн күркіреу естілгенде алты сажень биіктікке темір шыбыққа жалғанған электр күшінің көрсеткіші ауа ықпалынан темірге ілінген сезімтал жіп ырғала бастады». Одан әрі газет былай деп жазды: «Бақыланғаннан электр күшінің күн күркіреуінсіз болуы мүмкін еместігі байқалды. Егер осы айтылған ақиқат болса, ауадағы найзағай мен күн күркіреуіне электр күші себепші. Электр күшін күн күркіреуінсіз тудыруға болады, ал күн күркіреуі электр күшін көрсете алмайды» деп тұжырымдады.

Осыдан бір жыл бұрын осы газет (1752 ж., №50), Ломоносов пен Рихманның тәжірибесі туралы айта отыра былай деп жазған еді: «Сонымен, электрлік материя мен күн күркіреу материясы бірдей екенін білгеннен кейін, олай емес дейтіндердің көңіл күйі түсіп кетеді».

«Электрлік күн күркіреу күшін» өлшеу әдісін барынша қауіпсіз ету мақсатында Ломоносов күн күркіреу разрядының максимал шамасын тіркейтін автоматты реттеуіш жасады (1.6-сурет).



1.6-сурет. Ломоносовтың автоматты реттеуіші:

1 – тісті металл стержень;

2 – металл кружкаға дәнекерленген сым серіппе

Түтік ішіндегі металл стержень төменгі жағынан «металл кружкаға» дәнекерленген. Жай соққаннан кейін «электр күші» кружканы түтіктен төмен ығыстырғанда, ол тісті «металл стерженьді» өзімен бірге «сым серіппенің» кедергісін жоя отыра ала кетеді, ал «тістер стерженнің бастапқы қалпына келуіне мүмкіндік бермейді».

Өкінішке орай Рихман өзінің төл зерттеулерін жалғастыра алмады, ол 42 жасында қайғылы мерт болды.

Ломоносов атмосфералық электр суық ауаның төмен, ал

жылы ауаның жоғары қозғалысы кезінде ауа қабаттары бір-бірімен жанасу барысында туындайтынын түсіндіріп берді. Бұл атмосфераның электрленуін түсіндіретін алғашқы ғылыми гипотеза еді. Қазір атмосфералық электрдің «генераторларына» бұлт және жауын-шашыннан басқа, шанды дауыл, жанартаулардың атқылауы, бұрқасын, сарқырама, теңіз толқынынан судың шашырауы жатады. Ал, ауада қатты бөлшектер болатындықтан, оның электрі күшейеді деп түсіндірді. Ол бұлттың электр заряды су тамшылары мен оны құраушылары арасында бірдей бөлінген деп дұрыс пайымдады. Ломоносов көптеген бақылаулары мен өлшеулері негізінде найзағай мен электр ұшқынының тепе-теңдігін дәлелдеді және солтүстік шұғыланың электрлік табиғатына өзінің нық сенімді екенін атап өтті.

Одан ары қарай Ломоносов өз пікірінше найзағайдан қорғануға болатынын дәлелдей келе: «Аласа жерлерге карағанда, биік жерлерге найзағай көп түседі, мен кенішке найзағай түсті дегенді естіген де, оқыған да жоқпын». Оны Фрейберг жазбасынан көрген тәжірибе растайды. 1556 жылы 29 желтоқсанда түн ішінде қуатты найзағай бұлтты жиналып, төңіректегі он алты шіркеуге жай түсіп, өртеніп кетті, ал бірде-бір кеніш бүлінбеген, оның айналысы тау-тау үйінділер, жан-жағы қазылып тасталған ғой. Сол себепті Ломоносов найзағай кезіндегі ең қауіпсіз орын кеніш деп санады. Шіркеу туралы айтқанда, ол найзағай құдайға құлшылық ететін храмдар мен дінге тағзым ететін тұстарды да аямайтынын аса сызып айтты.

1.5. Энергия – электрондар жұмысының өнімі

Электрон электр және магнит өрістерінің әсеріне ұшырап отыратын субатомдық бөлшек.

XIX ғасырдың екінші жартысында физиктер катод сәулелерінің құпиясын өте-мөте белсенді түрде зерттеді. Оны бақылайтын қарапайым аппарат разрядталған газ толтырылып, екі жағынан электродтар дәнекерленген герметикалы шыны түтік түрінде болды: бір жағында электр батареясының теріс полюсіне жалғанған катод, келесі жағында оң полюске қосылған

анод болды. Катод-анод жұбына жоғары кернеу бергенде түтіктегі разрядталған газ жарқырай бастайды, ал төменгі кернеуде жарқырау катод аймағында ғана бақыланса, кернеуді арттырғанда түтіктің өне бойында байқалды, әйтсе де белгілі бір мезетте түтіктен газды сора бастағанда, жарқырау анод маңында болып, катод төңірегінде жоғалып кетеді. Осы жарқырауды оқымыстылар катод сәулелері деп атады.

1880 жылдардың соңында катод сәулелерінің табиғаты жөніндегі ұғым өткір пікірталасқа айналды. Неміс мектебінің көрнекті ғалымдарының басым көпшілігі катод сәулелері жарыққа ұқсас көрінбейтін эфирдің толқындық қозуы деген пікірде болды. Ал, Англияда катод сәулелері газдың өзінің иондалған молекулаларынан не атомдарынан тұрады деп санады. Әр тараптың өз болжамының дұрыстығына айқын дәлелдері болды. Молекулярлық болжамның жақтаушылары катод сәулелері магнит өрісінің әсерінен ауытқиды, ал жарық сәулелеріне магнит өрісі ешқандай ықпал етпейді деген дұрыс пікірді ұстанды. Екінші жағынан, корпускулярлық болжамның жақтаушылары бірқатар құбылыстарды, атап айтқанда, 1892 жылы ашылған катод сәулелерінің жұқа алюминий фольгадан іс жүзінде тоқтаусыз өту эффектін түсіндіре алмады. Ақырында, 1897 жылы жас ағылшын физигі Дж.Дж. Томсон осы пікірталасты біржола тоқтатып, электронды алғашқы ашқан ғалым ретінде тарихта есімін қалдырды.

Өз тәжірибесінде Томсон кемелдендірілген катод-анодты түтікті пайдаланды, ол түтік ішінде магнит өрісін тудыратын (Ампер заңына сәйкес) электр катушкаларымен және түтік ішінде электр өрісін тудыратын параллель электр конденсаторлық пластиналар топтамасымен толықтырылды. Осының арқасында катод сәулелерінің магнит және электр өрістерінің ықпалынан болатын өзгерісін зерттеуге мүмкіндік туды.

Жаңа құрылымды түтікті пайдалана отырып, Томсон егжей-тегжейлі мына қағидаларды көрсетіп берді:

- 1) катод сәулелері магнит өрісінде электр жоқ кезде ауытқиды;
- 2) катод сәулелері электр өрісінде магнит өрісі жоқ кезде ауытқиды, сонымен бірге;

3) тепе-тең қарқынды электр және магнит өрістері, жеке алғанда карама-қарсы жаққа ауытқу тудыратын бағытқа негізделіп, бір мезетте әрекет еткен кезде, катод сәулелері тіке тарайды, яғни екі өрістің әсері өзара теңестіріледі.

Ол әсері теңестірілетін электр және магнит өрістерінің ара қатынасы, бөлшектердің қозғалыс жылдамдығына тәуелді болатынын анықтады. Бірқатар өлшеулерден соң Томсон катод сәулелерінің қозғалыс жылдамдығын анықтады. Яғни, олар жарық жылдамдығынан айтарлықтай баяу қозғалады екен, демек, катод сәулелері тек бөлшек қана болуы ықтимал, өйткені жарықтың өзін қосқанда, электрмагниттік сәуле жарық жылдамдығымен таралады. Бұл белгісіз бөлшектерді Томсон «корпускулдар» деп атады, көп ұзамай ол «электрондар» деп аталды.

Электр тізбегінің кез-келген торабындағы токтардың алгебралық қосындысы нөлге тең, яғни осы торап арқылы шығатын зарядтар саны кіретін зарядтар санына тең болуы керек. Электр тізбегінің кез-келген тұйық контурындағы кернеу қосындысы нөлге тең.

Густав Кирхгофтың мансабы көп жағынан XIX жүзжылдықтағы неміс физигіне тән. Ол жиырма бір жасында электр тізбегіндегі ток пен кернеуді есептеуге арналған негізгі заңдарды тұжырымдады, қазір ол заңдар ғалымның есімімен аталады.

Кирхгофтың екі заңы барынша оңай тұжырымдалады әрі түсінікті физикалық талдауы бар. Бірінші заң тізбектің кез-келген торабын (яғни үш не одан да көп сым түйісетін тарам нүктесі) қарастырғанда, тізбекке келетін электр тогының қосындысы ол тізбектен шығатын токтардың қосындысына тең болатынын көрсетеді, жалпы айтқанда бұл электр зарядының сақталу заңының салдары болып табылады. Мысалы, сізде электр тізбегінің Т тәріздес торабы болып, оның екі сымымен оған электр тогы келетін болса, онда үшінші сыммен ток осы тораптан өзге бағытқа ағады да, ол кететін екі токтың қосындысына тең болады. Осы заңның физикалық мағынасы қарапайым: егер ол орындалмаса, торапқа электр заряды үзіліссіз келіп тола берер еді, ал мұндай жағдай ешуақытта болмайды.

Екінші заң одан да қарапайым. Егер бізде күрделі, тарамдалған тізбек болса, оны ойша бірқатар жай тұйық контурға бөлейік. Ток әртүрлі жолмен осы контурларда тармақталады, күрделі тізбекте ток қандай бағытпен ағатынын анықтау күрделі болады. Контурлардың әрқайсысында электрондар қосымша энергия алуы (мысалы, батариядан) не болмаса оны жоғалтуы (мысалы, кедергіге не өзге элементке) мүмкін. Кирхгофтың екінші заңы тізбектің кез келген тұйық контурында электрондар энергиясының таза көбеюі нөлге тең екенін баяндайды. Осы заңның жай физикалық түсінігі бар. Егер бұл мұндай болмаса, онда тұйық арқылы әркез өткен сайын электрондар энергияны не алып, не жоғалтып отырады да, ток үзіліссіз не өсер еді, не кемір еді. Бірінші жағдайда мәңгі қозғалтқышты алуға болар еді, ал ол термодинамиканың бірінші бастамасына қайшы келеді, екінші жағдайда электр тізбегіндегі кез-келген ток міндетті түрде өшер еді, ал біз оны байқамаймыз.

Кирхгоф заңдарының барынша кең қолданылуын тізбекті және параллель желілерде байқаймыз. Тізбекті желілерде (мұндай желілердің айқын мысалы: шырша шамдары, олар тізбектей қосылған шамдардан тұрады) қорек көзінен электрондар сымдар топтамасымен тізбектей барлық шамдардан өтіп, әр шамның кедергісінде Ом заңына сәйкес кернеу төмендейді.

Паралель желілерде, керісінше, сымдар желінің әр элементіне қорек көзінен бірдей кернеу берілетіндей етіп жалғанады. Яғни, желінің әр элементінің өзінің ток күші бар, ол оның кедергісіне тәуелді. Паралель желіге мысал «сатылы» шамдар: кернеу шинаға беріледі, ол шамдар арқалыққа орнатылады. Осындай желінің әр торабы арқылы өтетін ток Кирхгофтың екінші заңымен анықталады.

Тұйық бет арқылы өткен электр өрісінің кернеулік ағыны осы бет ішіндегі қорытқы электр зарядтарына пропорционал.

Оның мағынасын түсіну үшін, оқшауланған нүктелік q электр зарядын елестетейік. Енді ол тұйық бетпен қоршалған деп ұйғарайық. Теоремада бет пішіні онша маңызды емес, ол тіпті үрленген ауа шары да болсын делік. Зарядты қоршаған беттің әр нүктесінде, заряд тудырған электр өрісі байқалады, ал

осы электр өрісінің кернеулігінің туындысы зарядты қоршаған өрістің күштік сызықтары өтетін бет ауданының кіші бірлігіне сәйкес келеді, оны электр өрісінің кернеулік ағыны деп атайды, яғни беттің әр элементіне келетін кернеулік ағынды есептеуге болады. Гаусс теоремасы зарядты қоршаған бет арқылы өтетін электр өрісінің қорытқы кернеулік ағыны заряд шамасына пропорционал екенін тұжырымдайды.

Кулон заңымен Гаусс теоремасы арасындағы байланысты жай мысалмен өрнектеуге болады. Айталық, q заряды радиусы r сферамен қоршалсын. Зарядтан r қашықтыққа сәйкес нүктеге орналасқан бірлік зарядының тартылу не тебілу күшімен анықталатын электр өрісінің кернеулігі Кулон заңына сәйкес: $E = kq/r^2$.

Берілген радиусты сфераның әр кез келген нүктесі үшін де осы мәнді алуға болады. Яғни, барлық ағындардың қосындысын мына формула арқылы анықтауға болады:

$$4\pi r^2 \times kq/r^2 = 4\pi kq$$

Бұл Гаусс теоремасы.

Осы теореманы тұтас металға қолданғанда, қызық мәселе туындайды. Тұтас металл зат ішінде тұйық бет болсын делік. Осындай бет ішінде толық электр заряды нөлге тең, өйткені іште оң және теріс зарядтар саны – сәйкес атом ядросындағы протондар мен электрондар саны бірдей. Демек, осындай тұйық бет арқылы өтетін электр өрісі кернеулігінің ағыны да нөлге тең. Ал, металдың кез келген ішкі тұйық беті үшін металл ішінде электр өрісі болмайды әрі болуы да мүмкін емес. Металдың осы қасиетін экспериментаторлар мен байланыс инженерлері аса сезімтал аспаптарды сырттағы электр кедергісінен қорғауға қолданады. Аспап тек қорғауыш мыс экранмен қоршалады. Гаусс теоремасына сәйкес сыртқы электр өрісі осындай қабықшадан кіре алмайды әрі аспаптың жұмысына кедергі келтіре алмайды.

Гаусс теоремасының тағы бір қызықты ахуалы сол, егер сіз күн күркіреуге ұшырасаңыз, ең қауіпсізі – машинадан шықпау,

өйткені сіз тұтас металл экранмен қоршалып тұрсыз. Сіздің машинаға жай түссе де, ішіндегі сізге ештеңе болмайды, себебі барлық разряд қорап арқылы жерге өтіп кетеді.

1.6. Электрмагниттік құбылыстар

Ампер заңына сәйкес электр тогы магнит өрісін тудырады. Атомның төңірегінде айналатын электронды күші өте аз әрі радиусы кішкентай циклдік электр тогы ретінде қарастыруға болады. Әйтсе де магнит өрісін бәрібір индукциялайды. Шын мәнінде, әрбір электрондар, атом маңайында айнала отыра, өзінің магниттік өрісін тудырады және де әрбір атом, осының салдарынан, өзінің магниттік өрісімен сипатталады. Бұл өрістердің қосындысы әр электрон магнит өрісінің суперпозициясы деп аталатын жалпы магнит өрісті түзеді.

Кейбір атомдарда тең санды электрондар барлық мүмкін бағытта айнала береді, сондықтан олардың магнит өрістері бір-бірін өшіріп отырады. Сонда да, кейбір элементтердің атомдарындағы электрондардың бір бөлігі өзара бағыттас болып, қарама-қарсы бағыттағы электрондардың өрісімен компенсацияланбай, қайсыбір магнит өрісін түзеді. Сол кезде электрондардың орбита бойынша айналуымен байланысты туатын магнит өрісі, заттың кристалдық құрылымының барлық атомдарында бірдей бағытталған болып, өз төңірегінде орнықты және күшті магнит өрісін түзеді. Осындай заттың кез-келген бөлігі солтүстік және оңтүстік полюстері айқын болатын кішкентай магнит түрінде болады.

Кристалдық тор атомдарының осындай минимагниттерінің жиынтық күйі заттың магниттік қасиеттерін айқындайды. Өзінің магниттік қасиеттері бойынша заттар: ферромагниттер, парамагнетиктер және диамагнетиктер болып негізгі үш топқа бөлінеді.

Ферромагнетиктердің жалпы тобынан материалдардың тағы екі айырықша түрін антиферромагнетиктер мен ферримагнетиктерді ажыратуға болады. Бұл заттар ферромагнетиктер тобына жатқызылады да, төмен температурада ерекше қасиеттерге ие болып отырады: көршілес

атомдардың магнит өрісі қатаң түрде паралель, бірақ қарама-қарсы бағытта сапқа тұрады. Антиферромагнетиктер бір элемент атомдарынан құралады да, соның салдарынан олардың магнит өрісі нөлге тең болады.

Ферромагнетиктер екі не одан да көп заттардың қорытпасы түрінде болғандықтан, қарама-қарсы бағытталған өрістердің суперпозициясы нәтижесінде материалдарға тән макроскопиялық магнит өрісі пайда болады.

Заттардың магниттік қасиеттеріне тән нәрсе сол, олар атомдардың электрондық орбиталарының конфигурациясына тәуелді. Айталық, темір атомдарын жеке-жеке бөлгенде де, ол өзінің ферромагниттік қасиеттерін сақтап қалады. Ал, оларды одан әрі ыдыратқанда элементар бөлшектерді аламыз, олардың өзіндік магниттік қасиеттері болмайды, демек магнетизм табиғатын сипаттай алмаймыз. Сонымен, заттардың магниттік қасиеттері атом құрамындағы элементар бөлшектердің конфигурациясына және кристалдық домендерді ұйымдастыруға ғана тәуелді болып, атомдық құрылымның зарядталған бөлшектерінің қасиеттеріне байланысты болмайды.

А. Ампер токтардың магниттік өзара әсері, айналма ток пен жұқа жалпақ магниттің қасиеттерінің бара-барлық заңдарын тағайындады, магнетизмді молекулярлық токтың болуымен түсіндірді.

Электр тогы магниттік өрісті түзеді. Сырттай қарағанда электр мен магнетизм әртүрлі көрінгенімен, шын мәнінде олар бір-бірімен өте тығыз байланысты. Осы екі ұғымның біржола жымдасып кетуіне электромагниттік толқындардың біртұтас теориясын жасаған Джеймс Кларк Максвелл себепші болды. Осы ашылулардың басында дат физигі Ханс Кристиан Эрстед тұрды.

1820 жылы Копенгаген университетінде оның дәрісі тыңдалып, ол тәжірибемен ұштасты, онда Эрстед ток көзі ретінде жаңадан ойлап табылған электр батареясын қолданды. Осы дәрісте ол өткізгішті тым жақындатқанда компастың магнит стрелкасы ауытқитынын көрнекі дәлелдеді. Бұл электрмен магнетизмнің тікелей байланысының бар екендігінің алғашқы көрнекі әрі талассыз тұжырымы болды.

Магнит өрісіндегі металл арқылы электр тогы өткенде, электр кернеуін тудырып, ол токтың өзіне де, магнит өрісінің күш сызықтарына да перпендикуляр болады.

Электр заряды магнит өрісінде қозғалғанда, оған ауытқыту күші ықпал етеді. Дәл осы принципке экспериментты синхрофазатрон қондырғысының қызметі негізделіп, ол элементар бөлшектердің физикасы саласындағы зерттеулерде кеңінен пайдаланылады: онда зарядталған бөлшектер тороидты (дөңгелек нан секілді) магнит тұтқышта ұсталып, оның ішінде шеңбер бойымен ұшады. Шағын аумақта осы эффект микротолқынды пеш құрылғысында пайдаланылады—онда электрондар магнит өрісінде циркуляцияланып, тамақты ысытатын аса жоғары жиілікті сәуле шығарады.

Айталық, үстел үстінде өткізгіш сымның бір бөлігі жатыр, ал магнит өрісі үстел бетінің жазықтығына перпендикуляр бағытталған делік. Егер сым арқылы ток жіберсе, онда магнит өрісі сым бойындағы зарядтарды бір жаққа ауытқуға мәжбүрлейді (магнит өрісінің бағдарлануына және зарядтардың полярлығына байланысты ток бағытынан оңға не солға). Өткізгіш ішінде тіксызықты қозғалыс бағытынан ауытқи отыра, зарядтар, Кулон заңына сәйкес, олардың араларындағы электрстатикалық өзара тебіліс күшінің магнит өрісінің токты ауытқыту күшімен теңескеніне дейін шекаралық аймақта жинақталады. Осыдан кейін ток қайтадан тік сызық бағытымен ағады, ал өткізгіш қимасының жазықтығында электр потенциалдарының айырымы пайда болып, ол ток бағытына, сонымен бірге өткізгіш қимасының жазықтығында электр зарядының бөлінуін тудыратын магнит өрісінің күш сызықтары бағытына да перпендикуляр болады. Потенциалдар айырымының шамасы ток күшіне және магнит өрісінің кернеулігіне пропорционал.

Сыртқы магнит өрісінің әсерінен туындайтын көлденең электр кернеуін, 1879 жылы бірінші рет Эдвин Холл өлшеді. Ол кернеу векторы бағытының оң немесе теріс зарядтардың қайсысы ток тасушы екендігіне тәуелділігін сезінді. Жүргізген тәжірибелерінің нәтижесінде, Холл әлемде алғаш рет көрнекі түрде металдағы электр тогы теріс зарядталған электрондардың

бағытталған қозғалысынан пайда болатынын дәлелдеп берді.

Бүкіл электрмагниттік құбылыстар төрт теңдеуден құралған жүйемен сипатталады.

XIX ғасырдың орта шеніне қарай ғалымдар электр және магнит құбылыстары мен олардың арасындағы өзара әсер күшін сипаттайтын бірқатар заңдарды ашты.

– Кулон заңы – электр зарядтары арасындағы өзара әсер күшін сипаттайды;

– табиғатта оқшауланған магнит зарядтарының (магнит монополиясы) болу мүмкіндігін жоққа шығаратын Гаусс теоремасы;

– Био-Савар заңы– қозғалымдағы электр зарядтарымен қозатын магнит өрісін сипаттайды (ампер заңы мен эрстедтің ашқан жаңалығы);

– Фарадейдің электрмагниттік индукция заңдары – магнит ағынының өзгерісі электр өрісін тудырып, өткізгіште ток индукциялайды (Ленц ережесі).

Заңдардың осы төрт тобын шотланд физигі Джеймс Клерк Максвелл жалпылап, оларды қалыпты жүйеге біріктірді (оның есімімен аталады), ол төрт теңдеуден құралып, электрмагниттік өрістер мен электр токтарының барлық өлшенетін сипаттамасын толықтай өрнектеді.

Био-Савар заңына сәйкес өткізгішпен ағатын электр тогы, өз төңірегінде магнит өрісін қоздырады. Ал электр тогы өткізгішпен емес, жазық конденсатор арқылы ақса, не болады? Іс жүзінде электрондар бір астардан екіншісіне секірмейді, бірақ ток бәрібір конденсатор арқылы өтеді, өйткені бір астардағы электрондар келесі астардағы электрондармен өзара әрекеттеседі, себебі, олар бір-біріне жақын орналасқан. Өзара тебіліп, бір-біріне айналы ток тербелісін (осцилляция деп аталады) бере отырып, электр тізбегі үзілгендей болғанмен, ол арқылы токтың ағуын қамтамасыз етеді.

Зарядтар бір астардан екінші астарға өтпегенмен, электр өрісі (егер біз астарлар арасында қиялдағы электр тогын орналастырғанда туындайтын күш) ұлғаятынын да сезінді. Міне, осыдан барып ол, электрмагниттік құбылыстар әлемінде өзгеретін электр өрісі, магнит өрісін тудыратын электр тогы сияқты рөлді

атқаруы мүмкін деп ұйғарды. Максвелл принциптік түрде ығысу тогы деген ұғым енгізіп, оны Ампердің жалпы заңына дербес қосылғыш ретінде қосты— бұл Максвеллдің бірінші тендеуі. Сол кезден бастап ығысу тогы болатыны эксперименттік деректермен сөзсіз тиянақталып келеді.

Төрт тендеудің біріншісіне маңызды толықтыру енгізе отырып, Максвелл өзі жасаған тендеулер жүйесі негізінде таза математикалық тұрғыда сол кезеңде ойға кірмейтін болжам айтты: табиғатта электрмагниттік толқындар болуы тиіс. Олар электр және магнит өрістерінің тербелмелі өзара әрекеттесуі нәтижесінде туындап, таралу жылдамдығы зарядтар не магниттер арасындағы күшке пропорционал болуы тиіс. Өзі өрнектеген дифференциалды толқындық тендеуді шешіп, Максвелл электрмагниттік толқындардың таралу жылдамдығы сол кезде эксперимент жүзінде дәлелденген жарық жылдамдығымен дәл келетінін байқады. Демек, бұрыннан белгілі жарық электрмагниттік толқындар болып шықты! Оған қоса Максвелл электрмагниттік толқындардың барлық мәлім спектрде, яғни радиотолқындардан бастап гамма-сәуледе де болатынын болжады.

Осылайша, электр мен магнетизмнің табиғатын жан-жақты теориялық зерттеу, адамзатқа микротолқынды пештен бастап ауруханалардағы рентген қондырғыларына дейінгі өлшеусіз игілікті сыйлады.

Магниттеу — ферромагнетиктерде сыртқы магнит өрісінің әсерінен өтетін және оның магниттелуі артатын процесс.

Атақты орыс ғалымы А. Г. Столетов бірінші болып темірдің магниттік сезімталдығы алдымен өсіп, максимумға жеткеннен кейін кеми бастайтынын магниттелетін өрісінің артуына тәуелділігін көрсетті.

Столетов 1872 жылы ферромагнетиктің магниттік өтімділігінің қисығын алды, кейін ол ғалымның есімімен аталды.

Сиретілген газдарда электр құбылысын зерттеуге арналған вакуумдық қондырғысы, электртехникада нағыз төңкеріс жасаған электрондық шамдардың түпнұсқасы болды. Радиоқабылдағыш, радиотартқыш, радиолокатор мен электрондық микроскоп, рентген аппараты мен газрядты түтіктер, теледидар мен электрондық-есептеуіш машиналар—орыс ғалымының төл

еңбектерінің толық емес тізімі.

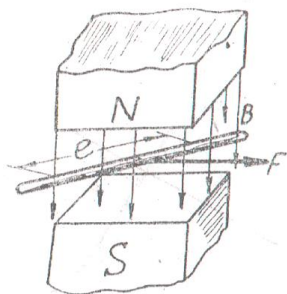
Ғалым электр тогы кернеулігінің максимал ток кезінде газ қысымына қатынасы тұрақты болатынын пайымдап, ол Столетов тұрақтылығы деп аталды.

Кез келген электр тогы өзінің айналасында магнит өрісін туғызады. Электр өрісі секілді магнит өрісі де материалды, яғни материяның бір түрі болып саналады. Магнит өрісі оқшауланған катушка орамдары арқылы өтетін токпен түзіледі. Өрісті күшейту үшін және оған қажетті конфигурация беру үшін катушканы ферромагнитті өзекшемен қамтамасыз етеді.

Магнит өрісінің ең бір маңызды қасиеті оның электрмеханикалық және индукциондық қасиеттері. Бұл қасиеттер электр машиналардың, аппараттардың және өлшеу аспаптарының жұмыс істеу негізін құрайды.

Магнит өрісінің электрмеханикалық және индукциондық іс әрекеттерін көрсететін негізгі сипаттамасы векторлық шама – B магнит индукциясының векторы. Бұл вектор магнит өрісінің бағыты мен интенсивтілігін көрсетеді. B векторының бағыты магнит өрісінің бағытымен сәйкес келеді. Тогы бар өткізгіш түзетін магнит өрісінің бағытын физикадан белгілі бұрғы ережесі бойынша (оң бағытты винт ережесі) анықтайды.

Магнит өрісінің қарқыны немесе B магнит өрісінің шамасы магнит өрісінің тогы бар өткізгішке тигізетін әсер күші арқылы анықталуы мүмкін. Бұл күш өріс магнит индукциясының ток пен өткізгіш ұзындығының көбейтіндісіне тең болады (1.7-сурет).



1.7-сурет. Магнит өрісінің тогы бар өткізгішке әсері

Егер магнит өрісі кеңістігінің барлық нүктелерінде B векторының шамасы да бағыттары да бірдей болса, ондай өріс біртекті деп аталады. Ұзындығы l тоғы I біртекті магнит өрісіндегі түзу өткізгішке әсер ететін F күшін мына теңдеу арқылы анықтауға болады:

$$F = BIl \sin \alpha, \text{ Н,}$$

мұндағы α – B мен өткізгіш арасындағы бұрыш. Жоғарыда алынған қатынасты Ампер Заңы деп атайды. Ампер Заңы электрэнергетикада өте маңызды рөл атқарады, себебі ол электр машиналарында және өлшеу аспаптарында айналдыру моментін есептеудің негізі болып саналады.

F күшін электромагниттік күш деп атайды. Оның әсер ету бағытын анықтау үшін сол қол ережесін пайдаланады. Егер сол қолды алақанға B векторы бағытталғандай етіп, ал бірге қосылған төрт саусақты ток бағытымен бағыттас етіп созсак. Онда керілген басбармақ электромагниттік күштің бағытын көрсетеді. Магнит өрісімен жүргізілетін есептеулерде магнит индукциясының ағынының орны өте маңызды. Қайсыбір бетті тесіп өтетін бұл вектордың ағыны мына формуламен анықталады:

$$\Phi = BS, \text{ Вб}$$

мұндағы S – магнит индукциясы ағыны тесіп өтетін беттің ауданы, м^2 ; B – магнит индукциясы, Тл (1.8-сурет).



1.8-сурет. Бет арқылы өтетін магнит ағынының векторы

Магниттік индукция өрістің берілген нүктесіндегі магнит ағынының тығыздығын көрсетеді, яғни

$$B = \frac{\Phi}{S}.$$

Енді магнит өрісінің индукционды әсерін қарастырайық. Электрмагниттік индукция құбылысын төмендегідей сипаттауға болады: тұйықталған өткізгіштік контурды уақыт ағымында өзгеріп тұрған магнит ағысы кесіп өтер болса, онда бұл контурда электрқозғағыш күш пайда болады (индуцирленеді), немесе мұндай өзгеріс контурдың тұрақты магнит өрісінде қозғалуының әсерінен де туындайды. Түзілетін ЭҚК

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Сонымен, тұйықталған контурда түзілетін ЭҚК теріс таңбалы магнит ағынының өзгеру жылдамдығына тең. Бұл заңдылықты электрмагниттік индукция заңы деп атайды.

Ал тұйықталған контурдың орнында көпорамды катушка болса, онда оның әрбір орамы тұйықталған контур болады да, катушкадағы түзілетін ЭҚК олардың әрқайсысында түзілетін ЭҚК сомасына тең болады, яғни

$$e = - \left(\frac{d\Phi_1}{dt} + \frac{d\Phi_2}{dt} + \dots + \frac{d\Phi_w}{dt} \right) = - \frac{d}{dt} (\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_w).$$

Катушканың әрбір орамдарымен ілініскен ағындар сомасын оның ағын ілінісуі ψ (потокосцепление) деп атайды,

$$\psi = (\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_w).$$

Егер барлық W орамдар бірдей Φ ағынмен тесіліп өтілсе, онда

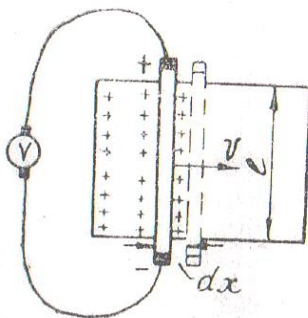
$$\psi = W\Phi.$$

Сонымен ағын ілінісу ұғымын пайдалана отыра жалпы түрдегі электрмагниттік индукция заңын жазуға болады:

$$e = - \frac{d\psi}{dt}$$

Магнит өрісінің индукционды әсері электр энергиясының көзі болып есептелетін генератордың жұмыс істеу негізі болады.

Енді магнит өрісіндегі тоғы бар өткізгіштің қозғалысын қарастырайық (1.9-сурет).



1.9-сурет. Магнит өрісіндегі тоғы бар өткізгіш қозғалысы

Магнит өрісі біртекті делік, ал оған перпендикуляр орналасқан өткізгіш сым V жылдамдықпен өріске перпендикуляр жазықтықта жылжиды делік. Онда бұл өткізгіштің бойында ЭҚК түзіледі:

$$e = BlV,$$

мұндағы B – магниттік индукция;

l – магнит өрісінің сызықтарымен қиылысатын өткізгіштің активті ұзындығы;

V – магнит сызықтарын өткізгіштің кесіп өту жылдамдығы.

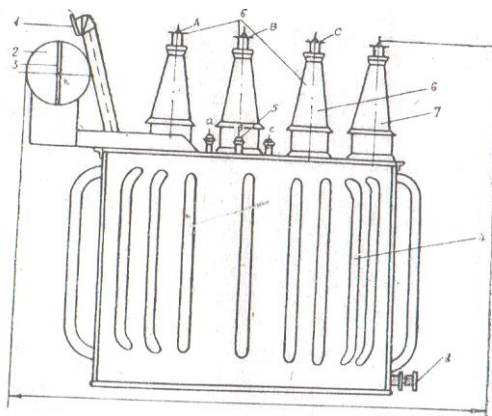
Өткізгіштегі индуктирленген ЭҚК бағытын оң қол ережесі бойынша анықтайды: егер оң қолды алақанға магнит сызықтары кіретіндей, ал алақан жазықтығында керіліп тұрған басбармақ өткізгіштің жылжу бағытын көрсететіндей етіліп созылса, онда бірге қосылып созылған төрт саусақ өткізгіштегі түзілетін ЭҚК бағытын көрсетеді. Барлық электр машиналарының жұмыстары электрмагниттік индукция заңына негізделген.

Энергетиканың барлық саласында қолданылатын трансформаторды алайық. Жалпы трансформатордың түрлері көп болғанымен олардың жұмыстарын анықтайтын негізгі процестер, ондағы өтетін құбылыстарды білу әдістері бәрінікінде де бірдей.

Трансформатор деп айнымалы ток кернеуінің бір мәнін айнымалы ток кернеуінің екінші бір мәніне түрлендіретін статикалық электрмагнитті аппаратты айтады. Мұндай түрлену процесін трансформация деп атайды.

Трансформатордың кері қайту қасиеті бар, яғни ол кернеуді көтеру үшін де және төмендету үшін де қолданылады.

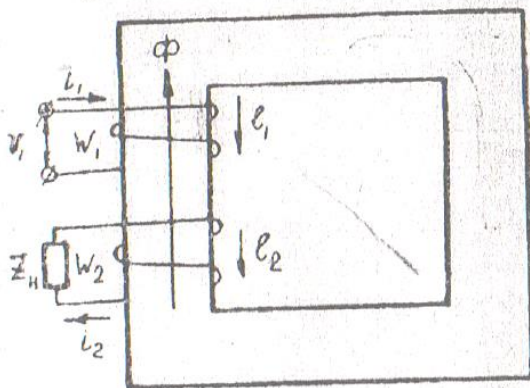
Трансформатордың негізгі бөліктері: өзек (сердечник), орамдар, майы бар бак (егер трансформатор майлы болса) және шығару изыяторлары (1.10-сурет).



1.10-сурет. Үш фазалы трансформатордың принципіалды схамасы:

- 1 – шығару құбыры; 2 – кеңейткіш; 3 – май деңгейін көрсетуші;
- 4 – маймен суыту үшін қойылған құбырлы бак; 5 – төменгі кернеу орамдарының шығысы; 6 – жоғары кернеу орамдарының шығысы;
- 7 – нейтральды енгізу; 8 – май төгетін қазан

Енді болат сердечникті екі орамды бірфазалы трансформатордың жұмыс істеу принципін қарастырайық. Оның жұмыс істеу принципі мен жұмыстық процесі және электрлік қатынастары барлық түрдегі басқа трансформаторларға да тән. Трансформатор құрылысының принципиялды схемасы 1.11-суретте көрсетілген.



1.11-сурет. Трансформатор құрылысының принципиялды схемасы

Тұйықталған магнитөткізгішке екі катушка орамдары орналасқан. Біріншілік орам деп аталатын оның орамдар саны W_1 болатын бір орамына бөтен айнымалы ток көзінен электр энергиясы беріледі. Орам саны W_2 болатын, екіншілік орам деп аталатын екінші орамы Z_H қабылдағышқа қосылған. Біріншілік орамға берілген U_1 айнымалы кернеу әсерінен онда i_1 айнымалы ток түзіліп трансформатор өзегінде Φ магнит ағыны туындайды. Бұл магнит ағыны орамдармен ілінісіп оларда ЭҚК туғызады:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Яғни, әр уақыт сәтіндегі бұл ЭҚК қатынасы орамдар сандарына пропорционал болады.

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Егер екіншілік орам тізбегі тұйықталған болса, онда ол арқылы e_2 әсерінен i_2 ток ағады. U_1 кернеуінің f жиілігімен синусоидалды өзгерісіне сәйкес магниттік өзекшедегі Φ магнит ағыны да синусоидалды болады, яғни түзілетін ЭҚК – тер де синусоидалды:

$$\begin{aligned} e_1 &= E_1 \sqrt{2} \sin \omega t, \\ e_2 &= E_2 \sqrt{2} \sin \omega t, \end{aligned}$$

мұндағы E_1 мен E_2 – сәйкес айнымалы шамалардың әсер ету мәндері;

$\omega = 2\pi f$ – айнымалы токтың бұрыштық жиілігі.

Сонымен

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k_{1.2}$$

трансформатордың коэффициентін табуға болады.

Жуықтатылған түрде ЭҚК пен оған сәйкес кернеуді бір-біріне тең деп алуға болады, сондықтан

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Алынған бұл теңдік трансформатордың негізгі тағайындалуын, яғни кернеуді бір мәнінен екінші мәніне түрлендіруін көрсетеді. Егер біріншілік орам саны екіншілік орам санынан көп болса, яғни $w_1 > w_2$, онда трансформатор – төмендетуші, ал керісінше болса – жоғарылатушы болып саналады. Трансформатордағы электр энергиясын түрлендіру аз шығынмен өтеді: номинал жүктеме болғанда трансформатордың п.э.к-ті $0,96 \div 0,95$ санын құрайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Статикалық заряд пен ток арасындағы айырмашылық не?
2. Электр энергиясы дегеніміз не?
3. Алғашқы энергия көздері қандай болды?
4. Электрмен магнетизм арасындағы байланыс қандай?

2. ЭНЕРГИЯ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

2.1. Жалпы түсінік

Қазіргі адамзат цивилизациясының алдында тұрған глобалды проблеманың мәні – ресурстарға деген адамдай қажеттілігінің өсуі мен оның қорының азаюы арасындағы карама-қайшылық. Мұндағы сөз ең бірінші энергетикалық ресурстар жөнінде.

Пайдалануға болатын энергия шоғырланған материалды объектіні *энергоресурстар* деп атайды. *Энергия* бір-біріне түрлендіруге болатын материя қозғалыстарының әртүрлі формаларының сандық бағалануы. Шартты түрде оларды химиялық, механикалық, электрлік, ядролық және т.б. деп бөледі. Табиғатта кездесетін көптеген ресурстардың ішінен іс жүзінде көп мөлшерде қолданылатындарын *негізгілер* деп атайды.

Негізгі ресурстарға өзендердің, су құламасының энергияларын, көмір, мұнай, газ секілді әртүрлі органикалық отындарды, уран және торийдың ауыр элементтерін – ядролық отынды, сонымен қатар олардың келешекте іске асырылатын жеңіл элементтерін және т.б. жатқызады. Энергетикалық ресурстарды жаңғыртылмайтын және жаңғыртылатын деп бөледі. Біріншісіне – табиғатта ертеден бері жинақталған, қазіргі геологиялық жағдайда іс жүзінде пайда бола алмайтын (мысалы тас көмір, мұнай, газ және басқалары), ал екіншісіне табиғат өзі әрдайым қалпына келтіріп отыратын (су, жел, күн және т.б.) ресурстарды жатқызады.

Табиғатта тікелей шығарылатын (отындардың, судың, желдің, газдың) энергияны – *алғашқы* деп атайды.

Алғашқы энергияны түрлендіргеннен алынатын энергияны (электр, бу, ыстық су т.б.) – *екіншілік* деп атайды.

Әзірше адамзат жердегі барлық ресурстар энергиясының болымсыз үлесін ғана құрайтын, органикалық түрдегі тек *химиялық жаңғыштардың* энергиясын кең пайдалануда (2.1-кесте).

2.1-кесте

Негізгі органикалық отындардың шамаланған дүниежүзілік қоры

Отын	Жылуберу қабілеті, ГДж
1 т тас көмірі	30,5
1 т мұнай	46,6
1000 м ³ табиғи газ	38,5
1 т бензин	47,0
1 т сутек	120,7

Бүгінгі таңда энергияны «шығарудың экономикалық пайдалылығы» энергоресурстың құны мен оған деген қажеттіліктің өсуімен анықталады. Нәтижесінде, мұнайдың өзіндік құнының үш есе өсуіне қарамастан, мұнай мұнаралары әрі қарай теңізге кетіп барады. Энергияны шығарудың қажеттілігінің сенімді критерийі ретінде, шығарылатын энергия көздері (ЭК) энергосыйымдылығының жұмсалған энергия санына қатынасын алады. Бұл қатынас бірден үлкен болуы қажет.

Бөлінетін ядролық отын табиғи ресурсын бағалау өте қиын. Алғашқы ядролық отын саны уран және торий екеуімен ғана шектеледі. Бұл элементтердің кені жер қыртысында бытыраңқы орналасқан, ал дүниежүзілік мұхиттар суларындағы концентрациясы өте аз.

2.2. Жаңғыртылмайтын энергия көздері

Алдымен органикалық отындар жөнінде түсінік берейік.

Отын деп жанған (тотыққан) кезде көп-көрім жылу шығара алатын қасиеті бар кез-келген затты атауға болады. Отынның іс жүзіндегі қажеттілігі оның сандық қорымен, қазып алу ыңғайлылығымен, жану жылдамдығымен, жылушығару қасиетімен, ұзақ сақтау мүмкіндігімен және оны жағудан шыққан өнімнің адамдар, өсімдіктер мен жануарлар әлемі және жабдықтар үшін залалсыздығымен анықталады. Отынның жаратылысты (табиғи) және жасанды түрлері бар.

Химиялық отын жанғыштан және тотықтырғыштан тұрады, себебі химиялық энергия босау процесі жанғыштың тотығу реакциясын көрсетеді.

Жанғыш отындар органикалық және бейорганикалық болып бөлінеді. Олар қатты (сүйекті), сұйық және газтәріздес болуы мүмкін.

Энергетикада электр энергиясын алу үшін жылу электрлік станцияларында (ЖЭС) негізінен органикалық отындар пайдаланылады.

Сүйекті отындарға тас және қоңыр көмір, торф, ағаш, сланц, ағаш кесегін заводтар мен ағаш өңдеуші цехтар қалдықтары және ауылшаруашылық өндірістің өсімдік қалдықтары жатады.

Сұйық отындарға мұнай, сондай-ақ одан өңделіп алынатын бензин, керосин, лигрон, әртүрлі майлар және мұнай өңдеудің ең соңғы өнімі – мазут жатады.

Газтәріздес отындарға жер қойнауынан алынатын табиғи газ, жолай шығатын мұнай газы, металлургия өндірісінің (кокс және домна) газтәріздес қалдықтарды, крекингтік газ және ерекше газогенераторлық құрылғыларда жасанды жолмен алынатын – генераторлық газ жатады.

Газтәріздес отын ЖЭС электр, жылу энергияларын алу үшін және транспортта жанармай ретінде қолданылады.

Отынның негізгі сипаттамасы – *жану жылулығы*. Ол бір килограмм отын толық жанғанда бөлінетін жылудың (кДж) мөлшерін көрсетеді.

Әр отынның жану жылулығы әртүрлі болғандықтан отындар арасындағы салыстырмалы есептерді жүргізу оңай емес (мысалы, отын қорын анықтағанда, отынның әртүрін пайдаланған кездегі қажеттілігін бағалау секілді жағдайларда). Сондықтан шартты отын деген ұғым енгізілген. *Шартты отын* дегеніміз жану жылулығы 29330 кДж болатын 1 кг немесе 1 м³ отынды айтады.

Жаңғыртылмайтын энергия көздеріне атом электрстанцияларында пайдаланылатын ядролық энергияны жатқызуға болады. Ядролық энергия, ядролық бөліну өнімдерінің тежелу процесі кезінде немесе үлкен

жылдамдықпен қозғалатын және жылутасмалдағыш заттың кинетикалық энергиясымен жұтылатын атом ядросының синтезі кезінде жылу энергиясы түрінде бөлінеді.

Ядро байланысының меншікті энергиясы деп бір нуклонға (протон мен нейтроннан тұратын бөлшектің жалпы аты) сәйкес келетін энергияны айтады. Оның мәні көптеген ядролар үшін тұрақты және 8,5 МэВ.

Ауыр ядролар аймағында оның мәні уран үшін 7,6 МэВ болып азаяды. Сонымен, массалық сандары шамамен 20 дан 200-ге дейінгі элементтер әлдеқайда стабильді, сондықтан ауыр ядроны бөлшектеу және жеңілдерді синтездеу энергетикалық жағынан пайдалы. Ядролық энергияның босауын бастау үшін қайсібір бастапқы энергияны – активация энергиясын беру қажет.

Ядро байланыс энергиясын протондармен және басқа да зарядталған бөлшектермен атқылау арқылы босату әрекеттері кулон күшінің қарсылығынан сәтсіз болды. Ядролық энергияны босату, Бете мен Беккер (Германия, 1930) және Ирен мен Фредерика Жолио-Кюри (Франция, 1932) эксперименттері негізінде, Чадвиктің (Англия) 1932 жылы нейтронды ашқаннан кейін ғана мүмкін болды. Ган мен Штрассман (Германия, 1939) ашқан зарядсыз нейтрон ядроны бөлу үшін керемет снаряд болып шықты.

Қозғалыс жылдамдығына сәйкес нейтрондар энергиясы $E_n = 0,03 \div 0,05$ эВ, жылдамдығы секундына бірнеше мың метр болатын шабан (жылу) нейтрондар, аралық – $E_n = 1 \div 10^3$ эВ, жылдам – $E_n = 10^5$ эВ және одан жоғары болып бөлінеді.

Активация энергиясы қолданылатын «снарядтарға» және ядроның түріне тәуелді. Мысалы, U^{235} , U^{233} және Pu^{239} жылу нейтрондарымен бөлінсе, Th^{232} және U^{238} – жылдам нейтрондармен атқылағанда бөлінеді.

Ядролық отынның бөлінуінде өтетін тізбекті реакцияның орны зор. Тізбекті реакция өту үшін, әрбір келесі бөліну актісінде, алдыңғыдағыдан көп нейтрондар қатысулары қажет. Бөлінетін ядролық отын біркомпонентті, жылу нейтрондары бөлетін изотоптармен асқан қарқынмен жұтылады. Жылу

аймағында бөліну қимасы, жылдам нейтрондар энергиясы аймағындағы бөліну қимасынан жүздеген есе артық.

Сондықтан, атом реакторында нейтрондар су, ауыр су, бериллий, графит т.б. секілді арнайы заттармен – бәсеңдеткіштермен – баяулайды.

Жер қабатынан алынатын жылу нейтрондармен қамтылғанда бөлінетін табиғи уран құрамында, U^{235} -ның тек 0,712 % ғана бар. Қалғандары U^{238} . Ал, бұларда жылу нейтрондарының қамту қимасы өте үлкен, сондықтан олармен тізбекті реакцияны, тек отын – бәсеңдеткіш жүйесі мұқият есептелген өте үлкен көлемді реакторларда ғана жүргізуге болады. Бұл, табиғи уранды байытқанда оған 1–2 ден 40–80 % дейін U^{235} қосуды қажет етеді (цифрлардың алғашқысы электрстанциялар реакторына, ал соңғысы қайсыбір транспорттық құрылғылар реакторларына қатысты).

Әрбір U^{235} бөліну актісі кезінде орташа $2,5 \pm 0,1$ нейтрон бөлініп шығады. U^{235} ядросы бөлінгенде босаған энергия әртүрлі бөліну өнімдері арасында таралады. Нейтриномен әкетілген энергияны ұстап қалу мүмкін емес.

Жылутасығыш заттарға түскен реакция өнімдерінің кинетикалық энергиясы жылуға айналады. Ядролық отынның 1 кг мөлшері бір жылда 2000 кВт жылу қуатын алуды қамтамасыз етеді.

2.3. Отынның түрлері мен сипаттамалары

Қазбалы қатты отындар өсімдіктердің органикалық шіруі арқасында пайда болады. Олардың ішіндегі ең "жасы кішісі" – шымтезек – батпақты өсімдіктердің шіріген қалдықтарынан пайда болады. Одан кейінгі «жасы үлкені» қоңыр көмір – біртекті қара масса, ауада көп тұрғанда тотықтанып, күлге айналып кетеді. Сонан соң тас көмір келеді, оның беріктігі үлкен де, кеуектігі аз болады. Ең ұзақ сақталған органикалық масса – антрацит – көптеген өзгерістерге ұшыраған және 93 % сутегіден тұрады.

Аталған қатты отындардың барлығы жаңғыртылмайды. Жаңғыртылатын қатты отын түріне ағаш жатады. Бірақ оның

энергетикалық баланстағы үлесі өте аз, тек кана кейбір шеткі аудандарда ғана отын ретінде қолданылады.

Жанғыш зат ретінде отынның қасиеті кепкен кездегі күлсіз күйімен анықталады («daf» индексімен белгіленеді). Оның құрамына органикалық масса және колчеданды күкірт енеді. Отынның химиялық құрамы күрделі болғандықтан, элементарлық талдау әдісіне сүйене отырып оны құрайтын элементтердің массалық құрамы арқылы сипаттайды. Сонымен

$$C^{daf} + H^{daf} + O^{daf} + N^{daf} + S_K^{dal} = 100 \%,$$

мұндағы S_K – жанғыш күкірттің қосынды құрамы.

Органикалық отындағы жанғыш заттарға сутегі, көміртегі және күкірт жатады. Отынның жасының ұлғайғанына қарай ондағы көміртегі құрамы арта түседі. Оттегі және басқа элементтер күрделі органикалық құрамалар ретінде сақталынады. Отынның құрамында оттегі көп болған сайын сутегі мен көміртегінің құрамы азайып, жылу беру қуаты кемиді. Оттегінің құрамы отынның жасы ұлғайған сайын азаяды, мысалы ағашта ол 42 % болса, антрацитте – 2 % шамасында.

Көміртегі толық жанғанда зияны аз көміртегі диоксиді CO_2 түзіліп, 1 кг көміртегіне шаққанда 32,8 МДж жылу мөлшері бөлініп шығады. Жану процесін дұрыс ұйымдастырмаған жағдайда (ауаның мөлшері жетпеген кезде) жану өнімі ретінде аса улы көміртегі оксиді CO пайда болып, бөлінген жылу мөлшері 9,2 МДж ғана болады.

Күкірт жанғанда улы күкірт тектес ангидрид SO_2 және одан да улы күкіртті ангидрид SO_3 түзіледі. Жану өнімдерімен олардың сыртқа шығарылуы қоршаған ортаны ластайды. Отынның органикалық массасындағы органикалық күкірт құрамы S_o^{daf} көмірдің жасына байланысты болмайды және әртүрлі өндірілетін орнына байланысты түрліше болады.

Колчеданды күкірт құрамының мөлшері S_K^{daf} отынның минералдық құрамымен анықталады. Оған темір FeS_2 және мыс $SiFeS_2$ колчедандары кіреді. Біздегі көмірлердің құрамындағы күкірт мөлшері көп емес – $S = S_o + S_K = 1 \%$.

Қатты отынның күлсіз құрғақ күйіндегі азоттың құрамы массалық жағынан 1–2 %-ға тең. Аз мөлшерде енетініне карамастан азот өте зиянды компонентке жатады, себебі жоғары температуралы ошақтарда азоттық құрамаларды жаққанда аса улы оксид NO және диоксид NO₂ пайда болады.

Техникалық құрылымдарда жағылатын отын оның жұмыстық күйімен сипатталады (г индексі). Оның құрамына күл А және ылғал W енеді. Оларды балласт деп атайды. Сонымен

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r + A^r + W^r = 100 \%$$

Күлсіз құрғақ кез келген элементтің құрамын $\mathcal{E}_i^{daf}$ жұмыстық күйі $\mathcal{E}_i^r$ арқылы есептеуге болады

$$\mathcal{E}_i^{daf} (100 - A^r W^r) = 100 \mathcal{E}_i^r$$

Отынның **ылғалдылығын** өлшемені 105–110 °C-та кептірген соң анықтайды. Отынның жұмыстық күйдегі максималды ылғалдылығы $W^r 50 \%$ -ға дейін жетеді де, одан үлкен болғанда оны пайдалану экономикалық тиімділік арқылы анықталады. Себебі 1 кг суды буға айналдыру үшін 2,5 МДж жылу жұмсау керек.

Отынның құрғақ күйіндегі құрамы:

$$C^d + H^d + O^d + N^d + S^d + A^d = 100 \%$$

Сонымен бірге

$$\mathcal{E}_i^d (100 - W^r) = 100 \mathcal{E}_i^r$$

Отынның құрамындағы күлге пайда болу кезеңіндегі енген минерал заттар және өндіру кезіндегі бос жыныстар кіреді. Отын жанған кезде оның құрамындағы минералды заттар да өзгереді.

Қазіргі санитарлық нормаларға сәйкес отын жанған кезіндегі пайда болған күлді ұстап қалу керек. Ұсталынған күлді табиғатқа тасып жаю көп қаражатты керек етеді, сондықтан оны халық шаруашылығында пайдаланған қолайлы (цементке қосу, кірпіш құю т.б.).

Отынның күлі оның органикалық массасымен байланысы жоқ болғандықтан, күл мөлшерін отынды **байыту** арқылы кемітуге болады, демек бос жыныстар бөлініп тасталынады. Бірақ бұл процесті іске асыру қымбатқа түседі, сондықтан оны тек кокстайтын көмірлер үшін қолданады. Байытудан қалған қалдықтар энергетикада отын ретінде қолданылады.

Қатты отынды ауа жеткіліксіз ортада қыздырса, оның органикалық массасы ажыратылып, соның нәтижесінде газдар, су және смола булары және көміртегі бар қалдықтар түзіледі. Бөлініп шығатын **ұшпа заттардың** жиынтығы температура өскен сайын артады да 700–800 °C-та бітеді.

Отынның күлдігін, ылғалдылығын, ұшпа заттардың шығуын және жану жылулығын анықтауды **техникалық талдау** деп атайды.

Отынның органикалық массасын күйдіру арқылы ажырату кезінде ол кокстануы мүмкін. Ондай көмірлерді кокстанғыш көмірлер қатарына жатқызады. Мұндай көмірлер қоры өте аз, сондықтан оларды тек металлургиялық кокс алуға пайдаланады. Энергетика және басқа технологиялық қондырғыларда кокстанбайтын көмірлер пайдаланылады.

Сұйық отындардың барлығы дерлік мұнайды өндегеннен алынады. Ол үшін шикі мұнайды 300–370 °C-қа дейін қыздырып, алынған буды әртүрлі температураларда сұйылатын фракцияларға бөледі: сұйытылған газ (шығымы 1 %), бензин (15 %, $t_k=30-180$ °C), керосин (17 %, $t_k=120-315$ °C), дизель отыны (18 %, $t_k=180-350$ °C). Қайнау температурасы 330–350 °C-тағы сұйық қалдықты **мазут** деп атайды. Аталған фракциялар жағармай алынатын және іштен жанатын қозғағыштарға қажетті отындар – бензин, керосин және дизельді отын алынатын шикізат болып табылады.

Мазутты фракция ары қарай өндеуге жіберіліп **крекинг** арқылы таза мұнай өнімдерін, сондай-ақ химиялық өндіріске шикізат алуға болады. Сондықтан қазіргі кезде мазутты отын ретінде қолдану шектелінген.

Соңғы кезде көмірден сұйық отын алу мәселесі актуальды болып тұр, бірақ ол табиғи сұйық отынға қарағанда қымбатқа түседі.

Газтәрізді отынға негізінен **табиғи газ** жатады. Оның табиғаттағы қоры өте мол. Табиғи газдың негізгі компонентіне метан CH_4 жатады, ал кейбір жерлердің газында аз мөлшерде азот N_2 , жоғары көмірсутегілер C_nH_m және диоксидті көміртегі CO_2 кездеседі. Мұнайды өндіру кезінде **ілеспе газ** деп аталатын, құрамында метаны аздау, бірақ жоғары көмірсутегі көп, жанған кезде мол жылу шығаратын газ алынады. Мұндай газды пайдалану қазіргі кезде өте актуальды проблемалардың бірі болып тұр. Бірқатар елдерде ілеспе газбен электр стансалары жұмыс істейді. Егер табиғи газ жүретін құбыр жақын болса, онда ілеспе газды соған апарып қосқан абзал.

Өндіріс пен тұрмыста өте кең тараған **сұйытылған газ** қолданылады. Ол мұнайды және оның ілеспе газдарын өңдеу арқылы алынады.

Металлургиялық зауыттарда ілеспе өнім ретінде **кокстық** және **домналық газдар** алынады. Аталған екеуі де осы зауыттардағы пештер мен технологиялық аппараттарды жылытуға арналады. Олардың біраз бөлігі тұрмыстық газбен жабдықтауда қолданылуы мүмкін, бірақ құрамында CO -ның көптігінен (5–10 %) оның қолданылуы шектелінеді де, негізінен зауыттың электр стансаларындағы ошақтарда жағылады.

Көмір шахталары орналасқан аудандарда өзіндік "отын" ретінде қабаттарды желдету кезінде бөлініп шығатын метан қолданылуы мүмкін. Оның ауадағы шоғырлануы 2,5-тен 40 %-ға дейін болу қаупі бар. "Метан-ауалы" қоспаның жарылыс қаупі 5–15 % шоғырлану аралығында болғандықтан, аталған шоғырлану мөлшері бұдан тыс шектерде жату керек.

Соңғы кездерде біраз жерлерде органикалық қалдықтардың анаэробты ферментациясының өнімі – **биогаз** қолдану орын тауып жүр. Ол органикалық қалдықтардың шіруінен пайда болады. Шетелдерде (Қытай, Жапония) биогаз көзі ретінде алдын ала екшеленген тұрмыстық сыпырынды қолданылады.

Қалдықтарды анаэробты шіріту қоршаған ортаны ластаудан қорғау проблемасын шешетін бірден бір жол.

Отынның **жану жылулығы** деп 1 кг қатты немесе сұйық немесе 1 м³ (қалыпты жағдайдағы) газтәрізді отынның толық

жанғандағы шығаратын жылу мөлшерін айтады. Аталған өлшем **калориметр** деп аталатын аспаптың көмегімен анықталады.

Техникалық құрылымдарда су, әдетте жану өнімдерімен бірге бу күйінде сыртқа шығарылады.

Қатты отынның максималды жану жылулық мөлшері $Q_i^r=28$ МДж/кг-ға дейін жетсе, минималды мәні 10 МДж/кг және одан да төмен болуы мүмкін.

Сорғытылған мазуттың жану жылулығы $Q_i^r=41,5-39$ МДж/кг-ға жетеді. Органикалық заттардың көптеген түрлерінің жану жылулығы (МДж/кг) олардың элементарлық құрамына байланысты.

Газдардың жану жылулығын дәл анықтау калориметрмен табылады. Негізгі газтәріздес отындардың Q_i^d мәні 2.2-кестесінде көрсетілген.

2.2-кесте

Газ	CH ₄	H ₂	CO	C _n H _m	O ₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂	Q _i , МДж/м ³
Табиғи	94,9	-	-	3,8	-	0,4	-	0,9	36,7
Коксты	22,5	57,5	6,8	1,9	0,8	2,3	0,4	7,8	16,6
Домналы	0,3	2,7	28	-	-	10,2	0,3	58,5	4,0
Биогаз	55-70	0,5	-	-	-	33	0,5	0,5	18-23

Көптеген әдебиеттерде дүниежүзілік энергетиканың бүгінгі күйі мен ықтимал даму жолдары төмендегі жағдайларға байланысты келтірілген:

- көптеген елдердің тұрмыстық жағдайының жақсаруына сәйкес энергияны тұтынудың өсуі;
- отынның қазып алынатын түрлерінің барланған қорының азаюы және олардың бітіп қалу қаупі;
- жағар отынның көбеюіне қарай глобалды экологиялық жағдайдың нашарлауы.

Осы бағытта жарық көрген публикацияларға көз жүгіртсек келесі ерекшеліктерге көңіл аударуға болады: олардың көбісінде «кіші энергетика», «альтернативті энергетика», «жаңғыртылатын энергетика» деген ұғымдар, олардың едәуір функционалдық ерекшеліктеріне қарамастан синоним ретінде

пайдаланылған. Мысалы, «альтернатива» деген сөз «оның орнына мынаны таңдап алуға» ұғымын білдіреді. Осыған карамай жаңғыртылатын энергия көздерін (ЖЭК) дәстүрлі энергетика көздерінің альтернативасы делініп жүр. Шын мәніне келсек ЖЭК алынатын энергия дүниежүзінде өндірілетін энергияның 4–5 % ғана қамтиды және жақын арада 10–15 % жетуі неғайбыл. Сондықтан оқырмандарға ұсынылып отырған кітапта энергетика жүйесі төрт түрде берілген:

- атом энергетикасын бірге алғандағы дәстүрлі энергетика;
- дәстүрлі энергия көздерін пайдаланатын, тек мөлшері мен ауқымы бойынша ерекшелінетін – кіші энергетика;
- ЖЭК пайдалану;
- болашақта «мұнайлық» энергетиканы алмастыратын альтернативті энергетика.

Қазіргі адамзат алдында тұрған проблема энергия ресурстарын тұтынудың көбейіп, олардың қорының азаюы. Мұның ішіндегі ең бастылары минералды және энергетикалық ресурстар.

Жалпы пайдалы қазбалар қоры жөнінде анық информация беру өте қиын, себебі олардың барланған қоры жылдан-жылға толықтырылып отырады. Алайда, қайсыбір ресурстары шектеулі дефицит минералдық шикізаттар жөніндегі мәліметтерді іздеп табу қиындыққа соқпайды.

Қазіргі шиеленіскен дүниежүзілік шаруашылықтағы еңбек бөлінуі бойынша даму үстіндегі елдер минералдық ресурстарды өндірушілер мен экспорттаушылар да, дамыған елдер – тұтынушылар. Өкінішке орай Қазақстан алғашқы елдер қатарына жатады. Екінші қатардағы дамыған елдер ресурстарды көп тұтынады және оған сәйкес экологияға көп зиян тигізуде. Мысалы, АҚШ-та жержүзі халықтарының 4,85 % тұрып жатыр, олар дүниежүзілік өнімнің үштен бір бөлігін өндіреді және оларға атмосфераға шығарылатын зиянды заттардың жартысы да тиесілі.

Энергетикалық ресурстар қуатын пайдалану да жылдан жылға өсуде. Бүгінгі таңда әрбір адам орта есеппен 2–3 кВт/адам энергия қуатын пайдаланады. Ал мұндай

энергетикалық қажеттілікті қамтамасыз етіп отырған көмірсутек құрамдас отындардың түрлері (тас көмір, мұнай, газ, ағаш, сланц, торф) және уран.

Дүниежүзілік энергетикадағы жағдай бүгінде, болашақта да қайсыбір қайшылықтардың шиеленісуімен сипатталады. Мұның негізгі себебі планетадағы мұнай ресурстарының орналасуы. Мұнайдың көпшілік бөлігі даму үстіндегі аздаған елдер мен өтпелі экономикасы бар елдер аймағында орналасқан, ал жоғары дамыған елдер негізгі тұтынушылар. Болжам бойынша дәстүрлі энергоресурстар энергия өндірудің әлі де 80 % құрайды, ал мұнайға деген қызығушылық тек 2030 жылдан бастап қана әлсіреуі мүмкін.

Айта кетер бір жай, бүгінгі таңда мұнай жалпы әлемдік, газ – аймақтық, көмір – жергілікті энерготасмалдаушылар. Глобалды экономиканы мұнай мен газ қорларымен қамтамасыз ету деңгейінің төмендеуі қайсыбір қауіпті туғызады. Сонымен қатар мұнай өңдеу және оны транспорттау қуаттарымен бірге мұнай шығарудағы қосымша қуаттардың шектеулігі де сезіледі. Осыған сәйкес дамыған елдер энерготасмалдауыш көздерінің басқа да түрлеріне назар аударуда. Әйтсе де алғашқы жылдарда көмірсутекті альтернативті көздермен алмастыра алу мүмкіндігі өте төмен.

Ендігі туындайтын сұрақтар: жер қойнауында қанша мұнай мен газ қалды? Олар таусылса басқа қандай көздерді пайдаланамыз? Өкінішке орай осы проблемалар жөнінде қаншама айтылып жатқанмен, оларға берілетін нақты жауап әлі жоқ.

Мұнай мен газдың неге және қалай жаңғыртылмайтын ресурстар қатарына жатқызылғаны ешкімнің есінде жоқ. Оның үстіне мұнай мен газдың жер қойнауындағы қоры шексіз деген пікір айтушылар саны да көбеюде. Осы көзқарастардың қайсысы шындыққа жатады?

Тарихи тәжірибеге сүйенсек, мұнай қорының азаюы жөніндегі болжамның шындыққа жатпайындығын байқауға болады. Осы болжамдарды бүгінгі күн позициясымен қарастырайық.

1919 жылы АҚШ геологиялық қызметі Америкада мұнай 10 жылдан кейін таусылады деп ескертті.

Ағылшын-персид мұнай компаниясы (қазіргі British Petroleum) өткен ғасырдың 20-шы жылдары Сауд Аравиясының инвестиция жөніндегі ұсынысын қабылдамады. Олар бұл аймақтағы мұнайды өндіру «құрғақ орамалдан тамшы суды сығып алумен» бірдей деп есептеді.

1979 жылы АҚШ президенті Д. Картер Орталық барлау басқармасының болжамына сүйене отыра, дүниежүзінде «мұнай скважинасының» түбі көріне бастады деп мәлімдеді. Көптеген ғылыми және басқа да болжамдарда мұнай қорының 10, 20, 40 жылдан кейін таусылуы жөнінде деректер алуға болады. Шын мәнісінде бұл болжамдар қазіргі тек белгілі барланған қорлар жөнінде айтылғанын еске алуымыз қажет. Ал, қаншама барланбаған мұнай, газ қорлары жатқан жер бетіндегі аймақтардың әлі де көп екендігін ұмытпауымыз қажет.

Оның үстіне қазіргі бағалау белгілі технологиялар көмегімен ғана сорылып алынатын ресурстар жөнінде жасалынған, ал көмірсутектің стандартты емес – битуминоздық құмдар, ауыр венесуельдік мұнай, газогидраттар т.с.с. түрлері ескерілмеген.

Жалпы мұнайдың пайда болуы жөнінде көптеген гипотезалар бар. Басқа, яғни, космостық фантастикалық гипотезаны былай қойғанда, ғалымдар арасында мұнайдың пайда болуы жөнінде екі бағыт бар, олар: органикалық және бейорганикалық.

Органикалық гипотеза бойынша мұнай жануарлардың, жердегі немесе теңіздегі өсімдіктер қалдықтарынан, араласқан өсімдік – жануарлар материалдарынан, қазбалы көмірден және т.с.с. пайда болған. Яғни, осы органикалық немесе биогендік концепция бойынша мұнай айтылған қалдықтардан жер қыртыстарында бірнеше миллиондаған жылдар бойы қалыптасқан.

Осындай биогендік теорияны атақты ғылыми тұлғалар М. В. Ломоносов, Н. Д. Зеленский, В. И. Вернадский, И. М. Губкин және т.б. қолдаған. Мысалы, М. В. Ломоносов өзінің «жер

қыртыстары туралы» трактатында органикалық материал алдымен көмірге, сонынан – мұнайға түрленеді деп көрсетті.

Мұнайдың бейорганикалық пайда болуы туралы алғашқы болып 1546 ж. неміс ғалымы Георгий Агрикола айтып өтті. Мұнайдың «су мен металл карбидінің өзара әрекеттестігі салдарынан» үлкен тереңдікте өте жоғары температура әсерінен пайда болады деген минералдық теорияны атақты химик Д. Менделеев те қолдады.

Сонымен осы екі көзқарас бір-біріне тәуелсіз түрде өмірде орын алды. Кейіннен осы болжамдарды дәлелдейтін немесе жоққа шығаратын фактілер пайда бола бастады.

Органика планетаның бет жағында пайда болатындықтан, егер мұнай ескі флораның қалдықтары болса, онда ол терең жақта орналасуы мүмкін емес. Бірақ XX ғасырдың соңында геофизика әдістері арқылы жер бетінен 3–6 шақырымда жатқан «терең мұнай» бар екендігі анықталды. Онымен қоса материктің кристалдық фундаментінің саңылауларында да мұнай бар екені анықталады. Алайда бұл жыныстар планетада ешқандай өмір болмаған кезде пайда болған. Яғни, ескі ормандар мен басқа органикалық массалардың мұнайға деген ешқандай қатынасының жоқ болғаны.

Осыдан: мүмкін мұнайдың пайда болу процесі қазір де жалғасып жатқан шығар – деген еретикалық сұрақ та тууы мүмкін. Бұл идеяның бүгінгі күнгі дәлелдері де аз емес. Татарстан, Шешенстан, Әзірбайжан, Мексика, Венесуэла, Американың Техас, Оклохома штаттарында 1940–1960 жж. қоры әбден таусылған көптеген кен орындарында мұнай шығару қайта жалғасқан.

1932 ж. белгілі совет ғалымы И. М. Губкин: «мұнайдың пайда болу процесі – үздіксіз» – деген еді.

Бүгінгі таңда литосфералық-мұхиттық теория (ЛМТ) қалыптасқан. Бұл теория бойынша биогендік және бейбиогендік теориялардың екеуі де өзінше шындыққа жатады. Мұнай шынымен де жарым-жартылай органикалық қалдықтардан, жер астындағы астеносферада қалыптасқан. Астеносфера (Гуттенбург қабаты) – жоғарғы мантияның пластикалық (жартылай балқыған) төменгі бөлігі. Географиялық деректерге

сүйенсек, мантия жоғарғы және төменгі болып бөлінеді. Жоғарғы мантия 850–900 км тереңдікті, ал төменгі мантия 2900 км тереңдікті алып жатыр. Жоғарғы мантия мен жер қыртысын бірге литосфера немес тас (қатты) қабат деп атайды. Жер шарында астеносферадан төменгі жақта қатты заттар жоқ.

ЛМТ концепциясына сәйкес, мұнайдың пайда болуына қажетті аса үлкен қысым (аса жоғары температурада), литосфераның ай-күн толысуы немесе таудағы заңғар мұздың еруінен жер қыртысындағы плитаның вертикаль бағытта қозғалулары кезінде, мұхит суының үлкен массасының рифталық саңылаулар арқылы астеносфераға құйылуы тудыратын будың жергілікті және глобал қопарылысына тән. Сонымен, мұнай ЛМТ-ға сәйкес будың қопарылысы кезінде пайда болады.

Оған дейін астеносфераның жоғарғы бөлігінде, яғни литосфераның астында жинақталған мұнай мен газ, глобал қопарылыс кезінде жанадан пайда болған және литосферадағы ескі сынықтар арқылы үлкен қысыммен жоғары жаққа қарай атқылап бір бөлігі атмосфераға кетеді де, екінші бөлігі шөгінді жыныстардың саңылауларында және кристалдық фундамент қуыстарына еніп таралады. Жер қыртыстары қабаттарында ол суыған кезде жеңіл көмірсутектер (метан және т.б.) табиғи газға айналады, ал ауырлау көмірсутектер мұнай кенін құрайды.

Мұнай мен газ көбінесе литосфераның неғұрлым жұқа қабатында, яғни мұхит астында құрлық ойпаттары жазықтарының астында орналасады. Тау массивтерінің астындағы литосфера қалың болғандықтан онда астеносфералық мұнай болмайды.

Америкадағы Корнуэлл университетінің астроном-ғалымы Томас Голдтың айтуынша, мұнай біздің планетамыздың жаралу сәтінен бастап бар болған табиғи газ метанның жер қойнауынан жоғары шығу процесінен пайда болған. Метанның химиялық энергиясын қорек ететін жер қыртыстарындағы өте көп микробтарды, жоғары көтерілетін бұл газ жұту арқылы мұнайға айналады. Сол себептен де мұнайдағы биологиялық ізді көреміз.

Ресейлік ғалым Владимир Лариннің теориясына сүйенсек, біздің планетамыздың ядросы дәстүрлі теорияда

калыптасқандай темірден емес, металлгидридтен, яғни сутекпен шексіз қаныққан магний, кремний және темірден тұрады. Сондықтан да мұнай мен газ үзіліссіз және тез арада пайда бола алады.

2.4. Жаңғыртылатын энергия көздері

Соңғы жылдары жер қойнауының және теңіз суы қабаттарының жылуын пайдалану көптеген елдерде етек алып келеді. Планетада жер қойнауының жылуы түрінде жиналған энергияның мол қоры бар. Жер тереңдігіндегі энергия іс жүзінде шексіз және оны пайдаланудың перспективасы орасан зор. Жер радиактивті элементтердің ыдырауы есебінде үздіксіз толықтырылып тұратын жылуды әлем кеңістігіне тұрақты беріп отырады.

Бірқатар елдерде үйді жылыту үшін және ыстық сумен қамтамасыз ету үшін термаль сулар кеңінен пайдаланылады. Мысалы, Исландияның астанасы Рейкьявик түгелдей жерасты жылуын пайдаланады. Жылумен жабдықтауда термаль суды Австралияда, Жаңа Зеландияда, Италияда кеңінен пайдаланады.

Жер жылуын іс жүзінде пайдалану ыстық су көздерінің жатқан тереңдігіне байланысты. Геотермальды құбылыстың табиғатын түсіну үшін оның ең қызығы – вулкан атқылауын қарастырайық. Жер қойнауы немесе литосфера тереңдеген сайын температура жоғарылайды. 40 км тереңдегі температура 1200 °С. Мұндай температура мен атмосфералық қысымда жыныстар балқып кетер еді. Бірақ та жер қойнауының бұл тереңдігіндегі қысым 1210 МПа, яғни өте үлкен болғандығынан жаппай балку болмайды.

Жер шарының көптеген жерлерінде, соның ішінде Ресейдегі Камчаткада геотермальды электрстанциялары ГеоЭС жұмыс істеуде.

Россияның геотермальды энергетикасы (геотермальды электрстанциялары мен геотермальды жылу станциялары) болашақта басқа да энергия көздерінің, яғни ЖЭС, ЖЭО, АЭС шығаратын энергияның және локальды жылу жабдықтау жүйесінің айтарлықтай үлесін (8 %) құруы мүмкін.

Геотермальды энергетика бүгін электр мен жылу алуда экологиялық таза технология. Қолданыстағы ГеоЭС геотермальды жұмыстық дененің қоршаған ортамен тікелей жанасуын және адамдарға зиянды парник газдарын ең алдымен CO_2 шығаруды болдырмайды. Көмірқышқыл газды шығару лимитін ескерсек, ГеоЭС және ГеоЖС, органикалық отынмен істейтін ЖЭС қарағанда әлдеқайда экологиялық артықшылығы бар.

Камчатка, Куриль аралдары қазірдің өзінде барланған геотермальды энергия көздері қорымен бай. Мысалы геотермальды қуаты 2000 МВт электр энергиясы электрлік ал қуаты 5000 МВт жылу энергиясы, бұл аудандарды көп жылдар бойы электрмен және жылумен жабдықтау проблемасын толығымен шешіп отыр.

Жаңғыртылатын энергияның қазіргі ең бір кең тараған түрі – Күн энергиясын пайдалану.

Күн – энергияның шексіз көзі. Күн энергиясының жыл бойы шашырауын $3,48 \cdot 10^{30}$ кВт·с деп бағалайды. Жер бетіне жыл бойы $7,5 \cdot 10^{17}$ кВт·с энергия келіп түседі.

Атмосфераның жоғарғы қабатына перпендикуляр түсетін күн сәулесінің электрмагниттік энергиясы шамамен $1,35 \text{ кВт/м}^2$ құрайды. Сәуленің атмосферада шағылысуы мен жұтылуына қарай орта ендікте бұл энергияның 10 % жер бетіне келіп түседі. Адамдардың орналасу тығыздығы 200 адам/км^2 болған күннің өзінде күн сәулесінің адам басына шаққандағы энергиясы 700 кВт.

Күн сәулесінің маңызды артықшылығы, оның энергиясын басқа бір пайдалы энергияға түрлендірудегі қоршаған ортаға залалсыздығы. Оған қоса, егер термоядролық энергияны қарқынды қолданғанда атмосфера температурасының көтеріліп кету қаупі туындайды (қайсыбір есептеулерге сүйенсек, бүкіл жердегі беті термоядролық бөлініс жер бетіне түсетін күн сәулесі энергиясының 5 % аспауы қажет), олай болса күн энергиясының электр энергиясына мол мөлшерде түрленген кезінде, бұл құбылыстың біршама орны толуы да мүмкін. Күн энергиясын жеткізу үшін арнайы құралдардың да қажет еместігі өте ыңғайлы.

Сәуле энергиясы ағыны тығыздығының аздығына және күндіз және түнде бірдей еместігіне, ауа райының өзгермелігіне байланысты екі қиын мәселе туындайды: күн энергиясын шоғырландыру және оны жинақтау (аккумуляция).

Көптеген елдерде қазіргі күні екпінді пайдаланылып жүрген энергия – атмосферадағы ауа қозғалыстың энергиясы.

Жел – адам игерген энергия көздерінің алғашқысының бірі. Желдің қоры өзендердің гидроэнергиялық қорынан 100 есе артық, бірақ қазіргі кезде жел энергиясын пайдаланатын қозғалтқыштардың белгіленген (анықталған) қуаты небәрі 1300 МВт және де жылына шамамен 0,002 дүниежүзілік тұтынуды құрайтын 107 МВт·с энергияны береді. Дегенмен батыс елдерінде болған энергетикалық кризис бұл энергия көзіне қайта оралуға мәжбүр етті. Электрстанциялардың жетілдірілген жел қозғалтқыштарын зерттеу және жасау ұлттық программалары құрылды.

Жерде пассат (тропиктік белдеулер желі) жүйесін құратын оңтүстік және солтүстік жарты шарларынан экваторға қарай бағытта үнемі ауа ағысы болып тұрады.

Ауа қабатының тұрақты қозғалысынан басқа, тәулік бойы (бриздер) және жыл бойы (муссондар) теңіз жақтан құрлыққа және құрлықтан теңізге қарай оқтын-оқтын ауа қозғалысы болып тұрады. Муссон мен бриздің болуы жер мен теңіздің әртүрлі жылуסיымдылықтарына сәйкес олардың беттерінің жылу температураларының айырмашалағымен түсіндіріледі.

Қазіргі жетілдірілген жел энергетикалық құрылғылар, желдің 6–8 км/сағ кем емес жылдамдығында 150 МВт дейін электр қуатын шығара алады.

Жел соғуы жылдамдығының біркелкі болмауына сәйкес энергияны жинақтау құралдарын пайдалану қажет. Бұл ЖЭҚ өзіндік құнын өсіреді де, алынатын энергия бағасын жылу және гидроэлектрстанцияларында алынатын энергияларға карағанда біршама қымбаттады.

Жаңғыртылатын энергия көздерінің ішіндегі ең жиі қолданылатын энергия көзі – гидроэнергетика.

Гидроэнергетика – энергетиканың саласы ретінде XIX ғасырдың соңында пайда болды. Жер бетіндегі

гидроэнергетикалық ресурстар жылына 33000 ТВт·с/ж деп бағаланады. Бірақ та, техникалық және экономикалық тұрғыдан қарағанда осы ресурстың тек 4-тен 25 % ғана қолжетімді. 2015 ж. Қытай – 1066,0 ТВт·с/ж, Бразилия – 373,0 ТВт·с/ж, АҚШ – 258,7 ТВт·с/ж, Канада – 358,0 ТВт·с/ж, Ресей – 183,7 ТВт·с/ж гидроэнергиясын өндірді.

Қазақстанда айтарлықтай су ресурстары бар, теориялық тұрғыдан қарағанда елдегі барлық су ресурстарының қуаты 170 млрд.кВт с/ж құрайды, яғни қазіргі сәтте су ресурстарының азғантай бөлігі қолданылуда. Қазақстанның су электрстанцияларындағы барлық белгіленген қуаттар 2350,16 МВт-ты құрайды. Қазақстандағы барлық су электрстанциялары жылына 7149,4 млн.кВт/сағаттан жоғары қуат өндіреді. Негізгі өзендер: Ертіс, Іле және Сырдария. Экономикалық тиімді су ресурстары негізінен еліміздің шығысында (Алтай тауы) және оңтүстігінде шоғырланған. Су электрстанцияларының маңыздылығы электр энергиясының өндірісінде олардың жаңыртылған табиғи ресурстарды қолдануы болып табылады. Сонымен қатар, су электрстанцияларында қосымша отынға сұраныс жоқ, алынған электр энергиясының соңғы құны, электрстанцияларының басқа түрлерінің қолданысына қарағанда айтарлықтай төмен.

ГЭС қуаты судың қысымына, сондай-ақ пайдаланылатын генератордың ПӘК-не тікелей байланысты. Табиғи заңдар бойынша судың деңгейі үнемі өзгеріп отыратындықтан, маусымға байланысты, сондай-ақ бірқатар себептер бойынша, гидроэлектрлік станцияның қуатын көрсету ретінде циклдік қуатты алу қабылданған. Мысалы, гидроэлектрстанция жұмысының жылдық, айлық, апталық немесе тәуліктік циклдері бар.

Гидроэнергия – халық шаруашылығы мақсатында пайдалануы мүмкін ағын су мен суқойма суларының әлеуетті энергиясы. Гидроэнергия энергияның жаңғыртылатын көздеріне жатады, оны пайдалануда қоршаған орта айтарлықтай ластанбайды.

Әлемдік масштабта гидроресурстар шамамен электр энергиясының 5–6 %-ын қамтамасыз етеді. Гидроэнергетика

ресурстарының жылу энергия ресурстарымен салыстырғанда маңызды ерекшелігі – олардың үздіксіз қалпына келуі, ГЭС-қа отын қажет болмауы, онда өндірілген электр энергиясының өзіндік құнын төмендетеді. Сондықтан 1кВт тұрақты қуат алуға жұмсалған үлестік қаржыға және құрылысының салыну мезгілінің ұзақтығына қарамастан, электрді қажет ететін үлкен өндірістер орналасқан жерлерде ГЭС құрылысының салынуына көп көңіл бөлінеді.

ГЭС – бұл құрылыс пен құралдар кешені, олардың көмегімен су ағысының қуаты мен қысымы түсетін гидротехникалық құрылымының жүйелі тізбегінен және су қозғалысының күшінен пайда болған энергияны механикалық энергияға, одан әрі электр энергиясына түрлендіруші энергетикалық қондырғылардан тұрады.

Соңғы жылдары көптеген елдерде көп көңіл бөлініп жатқан энергия көзі – теңіз бен мұхит суларының көтерілу және қайту кезіндегі энергиясы.

Дүниежүзіндегі мұхиттардың ағысы мен толқындары әртүрлі және өте қуатты. Ағыс жылдамдықтары өте үлкен, мысалы ені 30 км, 700 м тереңдіктегі Гольфстрим ағысы 2,57 м/с (9,2 км/с). Толқындардың биіктігі 15 м, ұзындығы – 800 м, жылдамдығы 38 м/с, периоды – 23 с болуы мүмкін. Судың қабатында ішкі толқындар пайда болады, оны алғаш болып 1902 ж. Ф. Нансен ашты. Бұл толқындардың амплитудасы 35 м-ден 200 м-ге дейін болуы мүмкін. Амплитудасы 1 м, ені 5 м және жылдамдығы 10 м/с толқынның энергиясы 267 кВт-қа жетеді. Осыдан-ақ бұл энергия көздерінің қаншама қуаттың қорына ие екендігін байқауға болады.

Жаңғыртылатын энергияның тағы бір көзі болып саналатын биомасса – энергиямен қамтамасыз етудің орнықты негізі ретінде өз орнын алуы мүмкін.

Бүгінгі күні жаңғыртылатын энергия көздерінің дүниежүзілік энергетикадағы үлесі 14 % жуық болса, биомассаның үлесі – шамамен 1,8 %. Ал, болжам бойынша 2040 жылға қарай ЖЭК үлесі 47,7 %-ға жетеді, оның ішінде биомасса үлесі – 23,8 % болады.

Ауылшаруашылық өнімдерінен жаңғыртылатын энергия көздерін белсенді пайдалану америка континентіндегі (АҚШ, Бразилия, Канада), Азиядағы (Жапония, Қытай) және Еуропадағы (Германия, Финляндия, Италия, Испания, Швейцария, Франция ж.т.б.) елдердің ұлттық саясатының ішіндегі басты приоритеттің бірі. Биоотын өндірісін ынталандыру үшін бірқатар елдерде комплекстік шаралар жасалынған – заңды түрде реттеу, өндіріс көлемін индикативті жоспарлау, салық салу жеңілдігі, бюджеттік қолдау және т.б.

Бүгінгі таңда Қазақстан биоэнергетикалық ресурсы өте мол. Ауылшаруашылық қалдықтарды (энергетикалық потенциалы 3,9 ПДж) айтпағанда, күнен-күнге экологиялық проблемалар туғызып жатқан тұрмыстық қатты отындарға (ТҚО) көңіл бөлу өте маңызды мәселенің бірі болып тұр. Бұл қалдықтардың пайда болу меншікті көрсеткіші, еліміздегі үлкен қалалар үшін адам басына бір күнде орта есеппен 0,5 кг құрайды және жылдан-жылға өсу үстінде. Қазақстанда полигонға шығарылған ТҚО-дың 3 % ғана пайдаға асырылады. Еліміздегі ТҚО биоэнергетикалық потенциалы (1,31ЭДж) оны пайдалану, экологиялық жағдайды жақсарту, атмосферадағы көмірқышқыл газ, метан, азот тотығы секілді улы газдардың болуын азайту секілді проблемаларды тиімді шешуге мүмкіндік туғызады. Биоэнергетиканы дамыту Қазақстан үшін көп-көрім пайда алудың үлкен мүмкіншілігі.

2.5. Энергетика көздерінің экологиялық сипаттамалары

Отынның көмір сутектік түрлерін жағуға негізделген энергетиканың (жылу энергетикасы), атом энергетикасының және гидроэнергетиканың экологиялық сипаттамаларын қарастырайық.

Энергияны өндіру, беру және пайдалану жүйелерінің қоршаған ортаға тигізер әсері мынандай процестер мен құбылыстардан байқалады:

– отынды қазып алу, электрстанцияларын орналастыру және энергияны беру, қалдықтарды көму үшін үлкен территория бөлініп алынады;

– атмосфера мен литосфера жану өнімімен ластанады (атмосфераға шығару, шлактар, радиоактивті қалдықтар және т.с.с.)

– жылулық (термиялық) бұлғану, яғни электрстанциясының жылу энергиясын қоршаған ортаға шығару нәтижесінде қоршаған ортаның температурасының көтерілуі;

– электрмагниттік бұлғану, яғни, адамзат пен биосфераға кесірін тигізетін электрлік, магниттік және электрмагниттік өрістердің пайда болуы;

– радиоактивті бұлғану;

– гидроэлектрстанциялар (ГЭС) су қоймасының құнарлы территорияларды басып кетуі;

– климатқа әсері;

– флора мен фаунаға әсері;

– «жасанды» сейсмиканың тууы, яғни электрқондырғыларды, гидроэлектрстанцияларын салғанда пайда болатын жер сілкінісі.

Жылу энергетикасының экологиялық сипаттамалары. Типтік ЖЭС көмірсутек түріндегі отындар жағылады және одан шыққан жылу әсерінен қазандықта температурасы 600 °С және одан да жоғары бу түзіледі де турбоагрегат турбинасын айналдырады. Турбинадан кейін бу конденсатор – жылуалмастырғышта ағын сумен суытылады да суға айналады. Бұл су насос арқылы қайтадан қазандыққа беріледі. Бұды суыту үшін пайдаланылған ағын су, ыстық бу есебінен ысиды да қошаған ортаның жылулық ластануын туғызады. Оған қоса, электрэнергиясын өндіру, тасымалдау және пайдалану электрмагниттік ластануға алып келеді. Көміртек құрамды отындарды жағу кезінде атмосфераға CO₂ қостотықты көміртек шығарып парниктік эффект пайда болуын туғызады. Жанатын көмірдегі күкірт қоспасы оның атмосфераға кететін тотықтарын шығарады. Бұл тотық су буымен реакцияға түсіп күкірт қышқылын туғызады, ал ол жауын-шашынмен бірге «қышқыл жауын» болып жерге түседі. Қышқыл жауынның тағы бір көзі үлкен температурада ЖЭС қазандығының оттығында түзілетін азот тотығы (жәй температурада азот тотығы атмосферадағы оттегімен әрекеттеспейді). Бұл азот тотығы атмосферада су

буымен реакцияға түсіп азот қышқылын түзеді, ол да жауын-шашынмен бірге жерге жауып түседі. Тас көмірмен ұшпа күл құрамында радиоактивті коспалардың (Ca^{226} , Ca^{228} т.с.с.) едәуір мөлшері бар. Қуаты 1 ГВт көмір ЖЭС маңайындағы топырақта жиналған радиоактивтілік осындай қуатты АЭС шығаратын радиоактивтіліктен 10–20 есе көп.

Сонымен бірге, жылу энергетикасы отын қазып алатын территорияны, оны тасымалдауды, электрстанциясын тұрғызуды және электрберу желілерін салуды, көмір күлдері мен шлактарды шығаратын орынды қамтамасыз етуді қажет етеді.

Атом энергетикасының экологиялық проблемалары. Көптеген елдердің энергетикасында (Франция, Жапония, АҚШ) атом энергетикасының маңызы зор. Ең көп тараған жылулық нейтронды реакторы бар АЭС реакторы арқылы кәдімгі ағын немесе ауыр су ағады. Ал бұл реактордың ішінде байытылған уран бар жылубөлгіш (ТВЭЛ) элементтер бар. ТВЭЛ жылу нейтрондары әсерінен U^{235} атомы ыдырап жылу энергиясы бөлініп шығып, нәтижесінде суытатын судың (жылутасымалдағыш) температурасы жоғарылайды. Ысыған су әрі қарай бу генераторына ағып келіп, онда пайда болған бу турбинаға беріледі. Турбинадан кейін бу конденсатор – жылутасымалдағышта суып, қайтадан реакторға беріледі.

Ресейде де АЭС екі түрі бар:

ВВЭР-1000 – водо-водяной энергетикалық реактор (18 реактор) және РБМК-1000 – үлкен қуатты каналды реактор (11 реактор).

Енді осы реактордың габариттері мен параметрлеріне тоқталайық. ВВЭР реакторының диаметрі – 4,6 м, биіктігі 11 м. Корпусының массасы – 304 т. Активті аймақтағы уранның массасы – 66 т. Биологиялық қорғанысты қамтамасыз етуші корпустың қалыңдығы – 12 см. Жылутасымалдағыш ретінде 100 атмосфералық қысыммен реакторға тазартылған су жіберіледі. Су реакторға 269 °С температурада беріліп, одан 300 °С температурамен, яғни 31 °С-ге қызып ағып кетеді.

Реактордың қуатын басқару үшін оның активті аймағына графиктік стержень (өзек) орнатылады. Бугенераторда қысымы

47 атмосфералық бу пайда болады. 1997 ж. әлемнің 25 елінде 437 энергоблок орнатылған АЭС-ры жұмыс істеді. Реактордың абсолют қуаты және саны жағынан дүниежүзінде бірінші АҚШ (109 реактор), екінші Франция (56), үшінші Жапония (51), төртінші – Ұлыбритания (35), бесінші Россия (29) орын алады. Электр энергиясын өндірудегі атом энергетикасының алатын меншікті үлесі 1997 ж. Ресейде 15 %, АҚШ 19 %, Жапонияда – 28 %, Германияда – 34 %, Швецияда – 51 %, Францияда – 75 % болды. Электрэнергиясын дүниежүзінде өндіруде атом энергетикасының үлесі 17 % құрады. Дүниежүзіндегі ең үлкен АЭС Жапониядағы «Фукусима» болатын (8 ГВт жалпы қуатты 10 блок). 2011 жылдың 11 мартында Халықаралық ядролық жағдайлар шкаласымен жетінші, яғни максимал деңгейдегі ең ірі радиациялық апат «Фукус-1» станциясында болды. Жер сілкінісінің нәтижесінде цунами болып станция тоқсыз қалды да нормальды және апатты суыту жүйесі істен шығып реактордың үш энергоблогының активті аймақтары балқып кетті, сутек жарылуы болды және атмосфераға радиоактивті заттардың өте мол мөлшері лактырылды. Бұл апат зардабының кеселі әлі күнге дейін ашық айтылмай жатыр. Станцияның жобасы АҚШ-тікі. Ал, АҚШ пен Жапониядағы АЭС-ры иелері жеке меншікті компаниялар. Салынған қорғаныс шараларына сәйкес, станция 1,2–2 метрлік судың көтерілуіне төтеп беруі керек еді, ал болған апатта судың деңгейі 18 м-ге көтерілді.

АЭС ядролық отынды қолдану, көміртектің қостотығын, қышқылды жауын-шашынның себепкерлері күкірт пен азот тотығын туғызбайды. Жылу шығару қасиетінен дүниежүзінде барлық АЭС жыл сайын 400 млн т мұнайды үнемдеуге мүмкіндік береді.

Бірақ өндірілетін электрэнергия бірлігіне есептегенде қоршаған ортаға АЭС, осы қуаттағы ЖЭС қарағанда әлдеқайда көп жылу жібереді.

Жалпы АЭС пен ЖЭС қоршаған ортаға лактыратын жылу мөлшерлері өте көп болуы мүмкін. Мысалы, Германияда Рейн жағасында 15 АЭС, 8 ЖЭС салынуы көзделген еді, бірақ бұл станциялар іске қосылған кезде, температураның 45 °С дейін көтеріліп, бұл өңірдегі тіршіліктің жойылып кету қаупі бар

екендігі анықталды. АЭС байланысты тағы да бір техникалық емес проблема бар. АЭС негізінен уран 235 энергиясының тек 1–2 % бөлігін ғана пайдаланатын жылулық нейтронды реакторды қолданады.

Қазіргі кезде перспективті бағыт атом энергетикасының бір бұтағы жылдам нейтрондармен жұмыс істейтін реакторды пайдалану. Оларда, жер астындағы қоры өте көп, арзан уран – 238 изотоптарының бөлінуі жүреді. Бірақ бұл реактор, ядролық қарудың негізіндегі плутоний өндірісінің кеңейтілген режимінде жұмыс істейді.

Бұл негіздегі энергетиканың дамуы, плутонийдің жүздеген тоннасын халықаралық айналымға енгізеді. Яғни, оның қара ниетті адамдар қолына тиіп, халықаралық қауіпсіздікке зор зиянын тигізетін сөзсіз.

АЭС санының көбеюі қайта өңдеуді (қалдықтарды қатайту, терең стабилді геологиялық формацияларда көму), тасмалдауды және шахталарда немесе үлкен көлемдегі радиоактивті бөліну өнімдерін теңіздер түбіне көмуді талап етеді.

Атмосфераға радиоактивті бөліну өнімдерін шығарумен байланысты, АЭС апатқа ұшырауы адамдар үшін өте қауіпті.

Сонымен қатар, соғыс қаупі төнгенде немесе террористердің іс әрекеттері нәтижесінде АЭС-тарды жай ғана қарулармен қопарып тастауға болатындығын және де радиоактивті заттарды АЭС-тан ұрлап кету мүмкіндігінің де бар екенін есте ұстаған жоқ.

Ірі АЭС қирату салдары жағынан қуатты мегатонналық ядролық бомбаны жарумен пара-пар.

АЭС қауіпсіздігін жоғарылату мақсатында академик А. Д. Сахаров оны, құрылыс шығыны 20 %-ға өскеніне қарамай, жер астында тұрғызу туралы ұсыныс берген. Францияда екі қабатты қорғауы бар, қауіпсіз реактор жасалынуда. Оның ішкі қабаты реактор корпусы бүлінгенде пайда болатын жылутасымалдағыштың қысымына, ядролық отынды және бөліну өнімдерін ұстап қалуға есептелген.

Тысқы қабаты, реакторды сыртқы әсерлерден (самолеттің құлауы, террористер шабуылы, т.с.с) сақтайды.

Гидроэнергетиканың экологиялық сипаттамалары. Энергетикадан аздаған хабары бар адамдардың көбісі ГЭС-ты едәуір сенімді және экология тұрғысында бейтарап, яғни энергетиканың басқа түрлеріне қарағанда аса қауіпті емес деп есептейді. Бірақ та бұл тым оптимистік ұғым.

Шынында да гидроэнергетика ЖЭС пен АЭС-ке қарағанда экология тұрғысынан едәуір таза. Алайда, ГЭС жұмысында да бірқатар экологиялық ерекшеліктер бар:

- шаруашылық айналымынан біраз жерді судың басып калуы;

- су қоймасы аймағындағы климаттың өзгеруі;

- балықтардың өмір сүру, уылдырық шашу жағдайының бұзылуы және балық санының қысқаруы;

- соғыс болған жағдайда плотина жарылып суқоймасынан үлкен тасқын судың ағуы, ГЭС-тен төмен жатқан өзен жағасына орналасқан ауыл, қалаларды быт-шыт қылатын биіктігі ондаған метрге жететін толқынның болуы;

- ГЭС суқоймасының «жасанды» сеймиканы туғызуы.

Соңғы жолға көңіл бөлейік, себебі бұл тек экологияға ғана қатысты емес, сонымен бірге сенімділік пен қауіпсіздікке тікелей байланысты. Су қоймаларын салу аймақтың сейсмикалық жағдайын ұлғайтатыны, жерастындағы қозғалыстарды күшейтетіні туралы бұрыннан белгілі.

Бұл құбылыстың механизмін түсіндіретін көптеген болжамдар бар, бірақ сол түсініктемелердің көп болуының өзі, оның әлі де нық дәлелі жоқ екендігін көрсетеді. Мысалы, бір гипотеза бойынша, жердің тереңінде, жер қыртысы қабаты қысымы мен сұйықтың (су) гидростатикалық қысымы арасында орнықтылық қалыптасқан. Енді бұл қабатқа жер бетіндегі жарықтар арқылы салынған суқоймаларынан су өтсе, айтылған қысымдар орнықтылығы бұзылады да, жер қыртысы қабаттарының ауысуы туындап, осы жерде жерсілкінісі пайда болады және де қайсыбір жағдайда ол бұрын сейсмикалық емес (бейсейсмикалық) деп жүрген аймақтарда да байқалады. Бұл құбылыс қаншама қауіпті деген сұраққа жауап алу үшін, бірнеше мысалдар келтірейік. Бұрын ешқандай жерсілкінісі болмаған Гувер (АҚШ) плотинасы ауданында 1936 ж.

сукоймасын сумен толтырғаннан кейін бір жыл өткенде магнитудасы Рихтер шкаласы бойынша 6,1 балл күшті жерсілкінісі болды. Америкада өткізілген байқау 68-дің 10 су қоймасының «жасанды» сейсмиканы туғызғанын көрсетті. Ал, дүниежүзілік статистикаға сүйенсек, 90 метрден биік плотиналардың 21 %-да «жасанды сейсмика» туындаған.

Нурек ГЭС сукоймасы толтырылмай тұрғанда, бұл аймақта қарқыны әрқалай жерсілкінісі декадасына 3–4 рет болып тұратын. Су қоймасын 1972 ж. толтыра бастағанда бұл жердің сейсмикалық белсенділігі күрт жоғарлап кетті. Радиусы 5 км жердегі әлсіз жерсілкіністерінің саны бірнеше есе өсіп, ал су деңгейі 100 м-ге жеткенде, олардың саны он есе, яғни декадада 30–40 дүмпу болып өсті. Жер асты дүмпуінің саны сукоймасынан 15 км қашықтықтағы зонада да көбейді.

Индиядағы Койна өзеніндегі Шиваджисагар су қоймасын сумен толтыруға дейін 1962 ж. бұл ауданда сейсмикалық белсенділік туралы мәліметтер болған жоқ – Индостан түбегі бейсейсмикалық деп есептелінетін. Су қоймасын сумен толтыра бастағанда бұл ауданда магнитудасы 3–4 балл орташа күшті жерасты дүмпуі пайда бола бастады. Ол дүмпу қопарылыс кезіндегідей шығатын шулы дыбыстармен қосақталып, әсіресе плотинаға жақын жердегі оның қарқыны мен жиілігі біртіндеп өсе бастады. Ақырында, 1967 ж. 10 қазанында магнитудасы 5,9-дан 7,0 балға жеткен жерсілкінісі болды. Нәтижесінде 200 адам қаза болды, 1,5 мыңнан астам адам жарақаттанды, Койнагар ауылындағы барлық үйлер қирап, бірнеше мыңдаған адамдар панасыз қалды. Күші азайған (афтершок) дүмпулер эпицентрі әуелдегідей плотина ауданында болып әрі қарай да жалғасты.

Осы қатарға Кариба (Замбия–Зимбабве) және Кренеста (Греция) су қоймаларын толтыру кезіндегі болған 7–8 балдық дүмпулі жерсілкінісін де жатқызуға болады. Бұл жерсілкіністерінің де адамдардың құрбан болуы, плотинаның жарылуы және көптеген қирау, бүліну секілді трагедиялық салдары болды. Айта кетер бір жай, Кариба сукоймасы да бейсейсмикалық аймақта орналасқан.

«Жасанды» сейсмиканың таралуы негізінен су қоймасының мөлшерімен, (соның ішінде – биіктігімен), яғни қортындысында

ГЭС қуатымен анықталып әдетте акваториден бірнеше ондаған шақырымнан аспайды. Ошақтың массасы, кейде үлкен тереңдікте байқалғанымен, негізінен жер қыртысының 10–15 шақырымдық жоғарғы қабатында жинақталған. Күшті жерсілкіністер әдетте су қоймасы суға толғаннан кейінгі 2–4 жыл аралығында болады. Бірақ та, сілкініс 15 немесе одан да көп жылдардан кейін де болуы мүмкін. «Жасанды сейсмиканы» болдырмау үшін алдын ала арнайы шаралар қолдануға болады. Мысалы, құрылыс жұмыстары басталмай тұрып, плотина мен су қоймасын салатын жерде бірнеше скважина қазып, ол арқылы жер астына су жіберіп, тереңдегі қабаттардағы қысым кернеуін азайту мақсатында, кішігірім сілкіністердің бірқатарын қасақана туғызу қажет.

Әлемдегі ең қуатты ГЭС-тер өркендеуші елдерде және Ресейде (2.3- кесте) орналасқан, ал өнеркәсіптік дамыған елдер ішінен бұл қатарға тек Гранд-Кули (АҚШ) ГЭС-ін ғана қоюға болады.

2.3-кесте

ГЭС аты	Қуаты, ГВт	Ортажылдық өндіру, млрд.кВт·сағ	Орны
Санься (үш үңгір)	22,4	100	Янцзы ө., қ. Сандоупин, Қытай
Итайпу	14	100	Парана ө., қ. Фос-ду- Игуасу, Бразилия – Парагвай
Гури	10,3	40	Карони ө., Венесуэла
Тукуруи	8,3	21	Токантинс ө., Бразилия
Гранд-Кули	6,8	–	АҚШ
Саяно- Шушенск	6,4	23,5	Ресей
Красноярск	6,0	20,40	Ресей
Братск	4,52	22,60	Ресей
Усть-Илимск	3,84	21,7	Ресей
Богучанский	3,0	17,6	Ресей

Гидротехникалық құрылымдардың қауіпсіздігі тек «жасанды» сейсмикамен ғана емес, сонымен бірге сұрапыл апаттармен де анықталады.

1975 жылы Қытайдағы Банкяо су қоймасы плотинасының жарылуы ГЭС тарихындағы ең үлкен авария (апат) болды. «Нина» тайфуны суық ауа фронтымен соқтығысып, нәтижесінде 800 мм-ден астам жауын-шашын жауды. Қоймадағы су деңгейі қатты көтерілді. Төмендегі өзен жағалауына су қаптап кетпеу мақсатында шлюздермен су жібергіш арналар жабық тұрды. Келесі күні шлюздер қақпаларының бұғатталып тасталғандағы анықталды. Армия бөлімшелері авиасоққы қолдануға рұқсат сұрады, бірақ 10 минуттан кейін плотина шыдамай жиналған су төменге лық ете түсті. Өзеннің төменгі жақ жағалауында а дегенде 26 мың адам қаза тапты, су басқаннан кейін 145 мың адам суға батты. Жалпы 11 миллион адам зардап шекті.

Италияның солтүстігіндегі Вайонт плотинасындағы катастрофа да белгілі. 1963 жылдың 9 қазанында суқоймасына тау көшкіні құлап түсіп, су деңгейі 150 метрге көтеріліп төменгі алқапқа құлап түсті. Биіктігі 90 метрге дейінгі су толқыны жолындағы ауыл-аймақты түгелдей қиратып, 2-ден 3 мыңға дейін адам өмірін жұтып кетті. Пакистандағы «Шакидар» плотинасы да 2005 ж. 11 ақпанында жарылып, Аравия теңізіне сутасқыны бірнеше ауылды жуып-шайып кетті. 130 мың адам қайтыс болды.

Сонымен қатар әскер қызметкерлері әр плотинаны, қарсыластарының әскерін, құрылыстарын және коммуникациясын құртып жіберу мүмкіндігі бар жаппай құрту қаруы ретінде қарастыратынын кімде кім біле бермейді. Әрбір плотина үшін ол қираған жағдайдағы кетер уақыт пен бұзылу аймағы алдын ала есептелінген; суқоймасының көлемі карталарда көрсетіледі, міне осы себептен де Кеңес өкіметі кезінде мұндай карталар құпия құжат қатарына жататын. Плотинаны тұрғызғанда, қажет болғанда оны жару немесе қорғау шаралары мүмкіндігі алдын ала қарастырылады.

1938 жылы Жапон-Қытай соғысы барысында, қытайлықтар Жапон әскеріне соққы беру мақсатында Хуанхэ өзеніндегі бөгетті (дамбаны) әдейі қопарып жіберді, ал кездейсоқты сақтау

мақсатында бейбіт жатқан ел хабарландырылмады. Су энергиясын қару ретінде пайдаланудың нәтижесінде әртүрлі бағалау бойынша 500-ден 900 мыңға дейін адам өлімі болды, бірақ Чженьчжоу қаласы түбіндегі Жапон әскерінің шабуылы тоқтатылады.

Соңғы онжылдардағы жағдай, адам өлімімен және экологияға тигізер әсерімен туғызылатын ірі апаттардың ГЭС энергетикалық жабдықтарымен байланысты технологиялық себептермен де болатынын көрсетті.

Соңғы ширек ғасырдағы ең ірі салмақты маңызды технологиялық апат деп аталынған, Ресей энергетикасының флагманы Саян-Шушенск ГЭС-де 2009 ж. 17 тамызда ірі авария болды. Санаулы минуттар ішінде 75 адам қаза тапты. Нәтижесінде он гидроагрегаттың үшеуі түгелдей қирады, машина залының төбесі мен керегесінің бір бөлігі құлап түсті, үш гидроагрегаттар металл және темірбетонды конструкциялар басып қалып, едәуір бүлінді, тағы екі гидроагрегаттың ішкі бөлшектері істен шықты. Іс жүзінде, тек су басқан кезде ремонтта тұрған бір ғана агрегат жұмысқа жарамды болып қалды. Бірақ та ол агрегатты іске қосу үшін бірнеше айға созылған жөндеу жұмыстары жүргізілді.

Мемлекеттік комиссия аварияның № 2 гидроагрегат турбинасы қақпағының босап кетуі кесірінен болғанын анықтады. Қысымы 25 атмосфералық су қақпақ бекіткіштерін быт-шыт үзіп барлық бүліністерді туғызған. Комиссия сонымен бірге ГЭС жабдықтарын пайдалануды ұйымдастыруда жіберілген көптеген қосалқы кемшіліктердің бетін ашты. Қателіктердің жобалау кезінде де болғаны анықталды, сонымен бірге автоматика және қорғаныс жүйелері де жұмыс істемей қалғандағы белгілі болды.

Тағы бір көп адам біле бермейтін факт, осындай авария 1980 ж. Нурек ГЭС-де де болған. Бірақ ол кезде мұндай информациялар құпияда сақталатын.

Айтылғандарды қорыта келе, энергетика проблемаларын төмендегідей тұжырымдауға болады:

1. тұтынудың өсуіне сәйкес шығарылатын қуатты өсіру қажеттілігі;

2. электрстанциялары саны мен қуатының көбеюі салдарынан экологиялық проблемалардың шиеленесуі;

3. қазып алынатын отынның көмірсутекті түрлері қорының азаюы және болжам бойынша таусылуы, оларды өндіру құнының өсуі. Отынның жаңғыртылатын түріне көшу қажеттілігі;

4. алыс жатқан аудандарды энергиямен (жылу және электрлік) қамтамасыз етудегі үлкен шығындардың болуы.

Отынның қазып алынатын түрінің таусылуы туралы болжамдар әртүрлі. Қалай болғанымен де «постмұнай» деп аталатын, яғни мұнайдан кейінгі кезеңнің тууына қазірден бастап дайын болу керек.

Мароккодағы француз бас резиденті, маршал Лиоте туралы бір қызықты жағдай бар. Ол қоластындағылардың назарын ыстықтан аса зардап шекпес үшін, жол бойына ағаш отырғызу қажеттілігіне аудырады. Олар ол ағаштардың тек 30 немесе 50 жылдан кейін ғана өсетіндігін айтып қарсы болады. Оған маршал жауап ретінде: «Сондықтан да ағашты отырғызуға қазірден бастап кірісу керек» – деген екен.

Айта кетелік, энергоресурстардың таусылу проблемасы адамзат алдында алғашқы болып туындап отырған жоқ. Біздің дәуірге дейінгі XIV–XIII ғасырда, Ежелгі Мысырда Рамзес II фараон басқарған шақта, ағаш көмір алу үшін пайдаланатын финикті пальмалар мен акация ағаштарын көмір жағушылар құртып бара жатқандықтан, мыс балқыту пештері түгелдей сөндірілді. Кейінен, XVI ғасырда Англия королевасы қара металлургия қажеттілігіне ормандағы ағаштарды кесуге тыйым салу туралы заң шығарды, себебі орманды арал шапшаң тақырлана бастаған еді. Металл өндіру күрт азайды. Егер бір дарынды ұста тас көмірді коксілеуді ойлап таппағанда мұның ақыры не болары белгісіз еді. Қазір бүкіл адамзат алдында жоғарыдағыдан әлдеқайда кең көлемді, глобаль масштабтағы проблемалар тұр.

Қарастырылған факторларды есепке алу, дүниежүзілік энергетика дамуының перспективті бағытын анықтайды:

1. қазіргі дәстүрлі энергетиканы ұтымды және инновациялық дамыту;

2. кіші энергетиканы дамыту;
3. ЖЭК кең пайдалану;
4. постмұнайлы, яғни мұнайдан кейінгі альтернативті энергетиканы (термоядролық және сутектік) жасау және дамыту.

Бақылау сұрақтары:

1. Негізгі энергетикалық ресурстарды атап шығыңыз.
2. Отынның түрлері мен сипаттамаларын атаңыз.
3. Жаңғыртылатын энергия көздерінің ерекшеліктерін атап шығыңыз.
4. Шартты отын дегеніміз не?
5. Негізгі энергетика көздерінің экологиялық сипаттамаларын атап шығыңыз.

3. ТЕХНИКАЛЫҚ ТЕРМОДИНАМИКАНЫҢ НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕРІ

3.1. Негізгі түсініктер мен анықтамалар

Термодинамика жаратылыстану ғылымының ең үлкен аймағы болып, энергияның бір түрінен екінші түріне түрленуін зерттейтін теориялық физиканың бір бөлігі болып табылады.

Бұл ғылымның жылу және механикалық энергияларының өзара түрленуін қарастыратын бөлігін *техникалық термодинамика* деп атайды. Ол жылу қозғағыштары мен басқадай өнеркәсіп қондырғыларының теориялық негізі болып табылады, себебі оларда көрсетілген энергиялар өзара түрленіп отырады.

Термодинамика оның бастамалары деп аталатын екі негізгі заңдарға сүйенеді.

Термодинамиканың бірінші бастамасы табиғаттың жалпы заңының бір бөлігі – жылу процестеріне қатысты энергияның түрлену және сақталу заңы болып табылады.

Термодинамиканың екінші заңы табиғатта кездесетін энергия алмасу процесінің бағытын бейнелейді.

Техникалық термодинамика іштен жанатын қозғағыш, бу және газ турбиналары, реактивті және ракеталық қозғағыштар және сығымдағыш (компрессорлар) машиналар секілді жылу қозғағыштарының теориясын өңдеумен айналысады. Оның негізінде жылуды тікелей электрэнергиясына түрлендіру әдісі қалыптасады, жылу алмасу процестеріне талдау жүргізіледі, әртүрлі заттардың термодинамикалық қасиеттерін, жылу қозғалысыш зерттейді және т.б.

Дененің физикалық күйі оның сол күйін бейнелейтін *күй параметрлері* деп аталатын бірқатар шамалармен анықталады. Оған мына төмендегі шамалар жатады: меншікті көлем, абсолюттік қысым, абсолюттік температура, ішкі энергия, энтальпия, энтропия, шоғырлану (концентрация), т.б. Бұлардың алдыңғы үшеуі, яғни меншікті көлем, абсолюттік қысым және температура техникалық термодинамикада негізгі күй

параметрлері деп аталады да, олардың ара қатынастарының математикалық байланыстары бар екендігі көрсетіледі.

Меншікті көлем деп дененің 1 кг массасының көлемін айтады (өлшемділігі $\text{м}^3/\text{кг}$):

$$v = V / m$$

Дененің тығыздығы деп меншікті көлемге кері шаманы айтады, демек көлемі 1 м^3 дененің массасы (өлшемділігі $\text{кг}/\text{м}^3$):

$$\rho = m / V$$

мұндағы V – жұмыстық дененің көлемі, м^3 ; m – жұмыстық дененің массасы, кг .

Қысым деп молекулалық-кинетикалық теория көзқарасынан туатын жабық ыдыстың қабырғасына молекулалардың бейберекет қозғалысының әсерінен болатын соққылардың орташа нәтижесін айтады және де ол сол бетке тік түсетін күштің беттің ауданынына қатынасын бейнелейді ($\text{Н}/\text{м}^2$).

Бұл өлшемділік Па (Паскаль) деп белгіленеді ($\text{Па} = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$).

Қысым абсолюттік p , атмосфералық p_a , артық p_{ap} және вакуум (сиретілулік) p_v болып бөлінеді.

Олардың арасында мынадай қатынастар бар:

$$p = p_a + p_{ap}$$

$$p = p_a - p_v$$

Қысымды барометр, манометр, вакууметр және әртүрлі түрлендіргіш аспаптар арқылы өлшейді.

Температура жұмыстық дененің бөлшектерінің кинетикалық энергиясына пропорционал болады. Температура төмен болған сайын кинетикалық энергия да төмен болады.

Молекулалардың жылулық қозғалысы толық тоқтайтын температура абсолюттік нөл немесе санақ бастамасы деп

кабылданады. Термодинамикалық температураның өлшемесінің келесі нүктесі ретінде судың үштік нүктесі (мұз, су және бу аралығындағы температуралық теңгерулік) алынады. Бұл жерде $T = 273,16$ К. Температураның өлшем бірлігі ретінде температурасы мүлдем нөлден үштік нүктеге дейінгі аралықтың $1/273,16$ бөлігіне тең болатын Кельвин өлшемесі қабылданған. Температураны Цельсия өлшемесімен де өлшейді (нөл – мұздың еру температурасы және $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – судың қалыпты қысымда 101325 Па қайнау температурасы).

Кельвин және Цельсий өлшемелерінің арасында мынадай қатынас бар

$$T = t^{\circ}\text{C} + 273,16\text{ K}$$

Термодинамикалық жүйе деп бір бірімен өзара және қоршаған ортамен әрекеттесетін денелердің жиынтығын айтамыз. Мысалы, поршень мен цилиндр арасындағы газ. Егер бұл жүйе басқа жүйелермен энергия немесе зат алмастырмаса, онда ол окшауланған немесе тұйық жүйе деп, ал егер жылу алмасу болмаса, онда адиабатты жүйе деп аталады.

3.2. Термодинамикалық процестер

Негізгі термодинамикалық күй параметрлері p , V және T бір бірімен өзара байланыста болып, мынадай математикалық теңдеу арқылы анықталады

$$F(v, p, T) = 0$$

Бұл теңдеуді термодинамикада **күй теңдеуі** дейді. Егер күй теңдеуі белгілі болса, онда термодинамикалық жүйенің күйін анықтау үшін негізгі үш күй параметрлерінің екеуі ғана белгілі болса жеткілікті, яғни

$$p = f_1(v, T); \quad v = f_2(p, T); \quad T = f_3(p, v)$$

Егер термодинамикалық жүйе орналасқан сыртқы ортаның күйі өзгерсе, онда жүйенің күйі де өзгереді. Жұмыстық дененің сыртқы ортаның әсерінен болатын күйінің өзгеру жиынтығы **термодинамикалық процесс** деп аталады. Ол процестер теңдесулі немесе теңдесулі емес болуы мүмкін. Осы жөнінде түсініктер берейік.

Дененің теңдесулі күйі деп, егер оның барлық көлемінің нүктелерінде қысым, температура, меншікті көлем және басқа физикалық қасиеттері бірдей болғандағы күйін айтады.

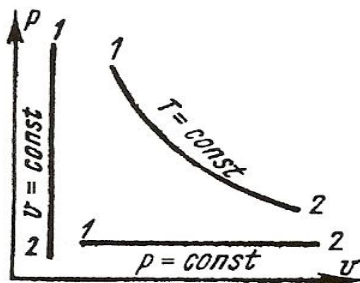
Теңдесулі процесс жәй өтетіні соншалық, әр екшеленген аз уақытта p, v және T параметрлерінің мәндері жүйенің бір бөлігінде ғана емес, бүкіл көлеміндегі теңдесулі күйді бейнелейді. Бірақ шексіз жәй өтетін процестің болуы мүмкін емес, оны тек теориялық тұрғыда ғана қарастыруға болады.

Теңдесулі процестерді графикалық түрде бейнелеуге болады, сонымен бірге әр қисық сызық термодинамикалық жүйенің теңдесулі күйінің жиынтығын құрайды.

Нақты процестер сыртқы ортаның әсерінен шектелген жылдамдықпен өтуіне байланысты, жұмыстық дененің барлық көлемінде теңдесулі күй орнығып бола алмайды. Сондықтан олар теңдесулі емес процестер болып табылады. Мысалы, цилиндрдегі поршень астындағы газ тез ұлғайғанда немесе тез сығылғанда оның температурасы мен қысымы дененің барлық нүктелерінде бірдей бола алмайды, демек теңдесулі емес күйде өтеді де, процесс теңдесулі емес болады. Бұл процестер графикалық бейнелеуге жатпайды, себебі жұмыстық дененің әр бөлігінде бір уақытта параметрлердің мәндері әртүрлі болады.

Техникалық термодинамикада теңдесулі термодинамикалық процестерді зерттеу үшін **p, v** координаттары қолданылады (3.1-сурет).

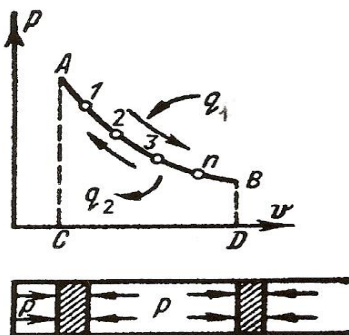
Мұнда абцисса осінде меншікті көлем, ал ордината осінде қысым мәндері салынады да, **p, v** координаттар жүйесінде тік сызық тұрақты көлемде өтетін *изохорлы* процесті, көлденең сызық – тұрақты қысымда өтетін *изобарлы* процесті және гиперболола түрінде қисық сызық – тұрақты температурада өтетін *изотермалы* процесті бейнелейді.



3.1-сурет

Термодинамикалық процестерді зерттегенде тұйық немесе айналма процестердің маңызы ерекше. Мұнда термодинамикалық жүйе біркатар тізбекті күйлерден өтіп, өзінің бастапқы күйіне оралады. Айналма процестерді **цикл** деп те атайды.

Қайтымды процесс тендесулі болып, қайтымсыз процесс тендесулі емес болады. Мысалы, поршень астындағы газ ұлғайып, тендесулі күйлер арқылы А нүктесінен В нүктесіне дейін 1,2,3,...,n нүктелері арқылы өтеді (3.2-сурет). Ал егер В нүктесінен бастап жұмыстық дененің күйін А нүктесіне сығылу процесі арқылы қайтадан сол көрсетілген аралық нүктелері арқылы n,...,3,2,1 өткізілсе, онда сығылу жұмысы ұлғаю жұмысына тең болады да, сыртқы ортада ешқандай өзгеріс болмайды. Мұндай жағдайда өтетін процестер қайтымды термодинамикалық процестер деп аталады.



3.2-сурет

Ал қайтымсыз процестер мұндай тендесулі күйлерді қанағаттандырмайды. Термодинамикалық жүйе өзінің бастапқы күйіне сыртқы ортаның әсерінсіз қайтып орала алмайды. Жұмыстық дененің күйінің әр қайтымсыз процесспен өзгеруі тендесулі емес процесс болып табылады және керісінше.

3.3. Ішкі энергия. Термодинамиканың бірінші заңы

Термодинамиканың бірінші заңы термодинамикалық жүйелерде өтетін жылу процестеріне қатысты энергияның сақталу және түрленуінің жалпы заңының жеке жағдайы болып табылады.

Энергияның сақталу және түрлену заңында айтылғандай, оқшауланған жүйеде энергияның барлық түрлерінің қосындысы тұрақты шама болады. Егер белгілі бір жүйеде энергияның бір түрі кемісе, онда басқа бір жүйеде ол артады. Ол жоғалып кетпейді және еш нәрседен пайда болмайды, тек бір түрінен екіншісіне ауысып отырады.

Егер сыртқы ортадан термодинамикалық жүйеге саны шексіз аз dQ жылулығы берілсе, онда белгілі бір жағдайда оның температурасы dT -ға артады, яғни оның кинетикалық энергиясы dU_k -ға өседі деуге болады.

Тұрақты қысымда температураның өсуі жүйенің көлемін dV -ға артуына әкеліп соғуы мүмкін. Бұл жағдайда жылудың бір бөлігі молекулааралық тартылыс күшті жеңуге кететін жұмысқа жұмсалынады да, олардың арасындағы ара қашықтықтың артуы жүйенің потенциалды энергиясының dU_n -ға өсуін қамтамасыз етеді.

Жүйенің кинетикалық және потенциалды энергияларының өсуінің жиынтығы оның ішкі энергиясының өсуін құрайды

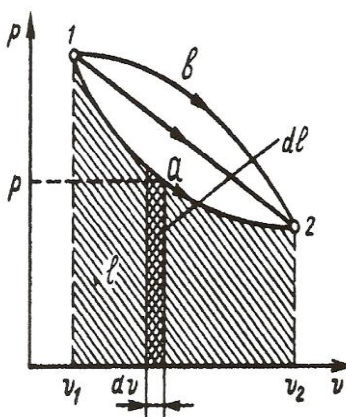
$$dU = dU_k + dU_n$$

Термодинамикалық жүйеге dQ жылулық мөлшері берілгенде жұмыстық дененің ішкі энергиясы ғана өзгеріп қоймайды, сонымен бірге жүйенің V көлемінің dV -ға ұлғаюына байланысты белгілі бір жұмыс жасалынады. Ол жұмыс

мөлшерін анықтау үшін массасы m , сыртқы қысым p_c әсер етіп тұрған термодинамикалық жүйені қоршаған бет мөлшерін F білу керек. Газ шексіз аз ұлғайғанда қоршаған беттің әр нүктесі де шексіз аз қашықтыққа ds жылжиды. Сонда элементар жұмыс $dL = p_c F ds$ – көлем өзгеру жұмысы немесе механикалық жұмыс болады. Егер $p_c = p$ болса (ұлғаю процесі тендесулі), онда көлемнің элементар өзгеруі $dV = F ds$, сондықтан

$$dL = p dV \quad (3.1)$$

Егер (3.1) өрнегінің екі жағын да m -ге бөлсек, онда меншікті элементар жұмысты табуға болады $dl = p dv$. Элементар жұмыс dl сан жағынан көлем dv -ға өзгергенде 1а2 процесінің астындағы элементар ауданға тең болады (3.3-сурет).



3.3-сурет

Қорытынды жұмыс

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

мұндағы v_1 және v_2 – бастапқы және соңғы меншікті көлемдер.

pV – координаттарында бұл жұмыс мөлшері процесс астындағы ауданмен бейнеленеді – $1a2341$ (3.3-сурет). Термодинамикалық жүйенің көлемі өскенде оң жұмыс жасалынады деп есептелінеді.

Термодинамикалық жүйеге берілген жылулық мөлшері dQ жалпы түрде оның ішкі энергиясы мен сыртқы жұмыстың жасалынуына әкеліп соққандықтан, энергияның сақталу заңына негізделіп оны былай жазуға болады

$$dQ = dU + dL \quad (3.2)$$

немесе

$$dq = du + dl \quad (3.3)$$

Бұл тендеулер бойынша, егер жүйеге жылулық келтірілмейтін болса, онда сыртқы жұмыс тек қана ішкі энергияның есебінен істелінуі мүмкін, және де келтірілген жылулықтың термодинамикалық процеске байланысты екенін көреміз, себебі ішкі энергияның өзгеруі бастапқы және соңғы күйлерге ғана қатысты болса да, сыртқы жұмыстың мөлшері термодинамикалық процестің түріне байланысты болады.

Ашық термодинамикалық жүйелерде берілген жылулық мөлшері жұмыстық дененің сыртқы кинетикалық L_{ck} және сыртқы потенциалдық L_{cn} энергияларының өзгеруіне әкелуі мүмкін

$$dL_{c.k} = \frac{1}{2}d(mw^2); \quad dL_{c.n} = d(gmZ) \quad (3.4)$$

мұндағы w – жұмыстық дененің қозғалу жылдамдығы, g – еркін түсу үдеуі, Z – дененің екпін орталығы деңгейінің өзгеруі.

Жұмыстық дененің қозғалысын жылу қозғағыштарында қарастырсақ, онда сыртқы жұмыс dL пайдалы техникалық жұмыс $dL_{техн}$ және үйкеліс күштерін $dL_{үй}$ жеңу жұмыстарына пайдаланылады

$$dL = dL_{mexh} + dL_{yy} \quad (3.5)$$

Қорыта келгенде, ашық термодинамикалық жүйе үшін термодинамиканың бірінші заңын төмендегідей өрнектеуге болады

$$dQ = dU + \frac{1}{2}d(mw^2) + d(gmZ) + dL_{mexh} + dL_{yy} \quad (3.6)$$

немесе (3.4) пен (3.5) -ті есепке алып

$$dQ = dU + dL_{c.k} + dL_{c.n} + dL \quad (3.7)$$

Оқшаулаған жүйеде энергия қоры өзгермейді, сондықтан жұмыс тек тендесулі процесте шекті уақыт аралығында ішкі энергияның кемуі әсерінен істелінуі мүмкін. Термодинамикалық теңгерулі, біршама ішкі энергия қоры бар денеден жұмыс алуға болмайды. Сондықтан да сыртқы энергия көзінсіз жұмыс істейтін мәңгі қозғағыштың бірінші түрін және температуралық теңгерулікте тұратын денемен жұмыс істейтін мәңгі қозғағыштың екінші түрін жасауға болмайтыны айқын.

Егер термодинамикалық жүйеге жылулық термодинамикалық процестің белгілі аралығында алып келінсе, онда (3.2), (3.3) және (3.6) теңдеулерін интегралдау керек. Олай болғанда

$$Q = U_2 - U_1 + L \quad (3.8)$$

$$Q = U_2 - U_1 + \frac{1}{2}m(w_2^2 - w_1^2) + gm(Z_2 - Z_1) + L_{mex} + L_{yy}$$

немесе

$$q = u_2 - u_1 + l$$

$$q = u_2 - u_1 + \frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) + g(Z_2 - Z_1) + l_{mex} + l_{yy}$$

3.4. Энтальпия, жылусыымдылық және энтропия

Термодинамикалық есептерде энтальпия h деп аталатын шама жиі қолданылады

$$h = u + pv, \quad \text{Дж/кг} \quad (3.9)$$

Бұған кіретін шамалар күй функциялары болғандықтан, энтальпия да күй функциясы болады. Ішкі энергия мен pv көбейтіндісі температураға ғана байланысты болғандықтан, энтальпия да осы параметрлермен анықталады

$$h = f(T)$$

Термодинамикалық жүйе күйінің өзгергендегі энтальпияның өзгеруін бағалау үшін (3.9)-ны дифференциалдаймыз

$$dh = du + pdv + vdp$$

Алынған өрнекті (3.1) және (3.3)-ке салыстыра отырып мынаны аламыз

$$dh = dq + vdp \quad (3.10)$$

(3.10) тендеуі термодинамиканың бірінші заңының екінші түрінде жазылуы болады.

Денеге оның күйі шексіз аз өзгергендегі берілген жылулық мөлшерінің dQ осыған байланысты оның температурасының өзгеруіне dT қатынасын дененің осы процестегі толық жылусыымдылығы деп атайды

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (3.11)$$

Жылусыымдылықтың мынадай түрлері болады:

1) меншікті массалық жылуsыйымдылық c – 1 кг газға шаққанда, өлшемділігі Дж/(кг.К);

2) меншікті көлемдік жылуsыйымдылық c' – қалыпты физикалық жағдайдағы көлемі 1 м³ газ мөлшеріне шаққанда, өлшемділігі Дж/(м³* К);

3) меншікті мольдік жылуsыйымдылық μc – бір киломольға шаққанда, өлшемділігі Дж/(кмольК).

Олардың арасындағы байланысты былай көрсетуге болады

$$c = \frac{\mu c}{\mu}; \quad c' = \frac{\mu c}{22,4}; \quad c' = c \rho_{\kappa.ж}$$

мұндағы 22,4 м³ және $\rho_{\kappa.ж}$ – қалыпты жағдайдағы бір киломоль газдың көлемі мен газ тығыздығы.

Жылуsыйымдылық термодинамикалық процестің түріне де байланысты болады. Оны тәжірибеден анықтау үшін кәдімгі екі термодинамикалық процестерді – тұрақты қысымда (жылуsыйымдылық c_p) және тұрақты көлемде (жылуsыйымдылық c_v) – пайдаланады. c_p мен c_v мәндері арнайы кестелерде келтіріледі.

Егер көлем тұрақты болғанда, онда $dl=0$ болады да, берілген жылу (3.3) тендеуіне сәйкес тек ішкі энергияны өзгертуге жұмсалады. Ал қысым тұрақты болса, онда берілген жылу мөлшері сонымен қатар жұмыс істелінуге жұмсалынады да, дененің температурасын 1 К-ге өсіру үшін жылу мөлшері көп қажет етіледі. Сондықтан да $c_p > c_v$.

Егер айтылған тұжырымға байланысты (3.11) тендеуін $v=\text{const}$ процесіне сәйкес ($dQ=dU$) интегралдасақ, онда

$$dU = c_v dT$$

Ал $p=\text{const}$ процесіне сәйкес (3.3) тендеуін ескере отырып интегралдасақ, онда

$$c_p dT = c_v dT + p dv$$

мұндағы $pdv = RdT$, сондықтан соңғы тендеуді былай жазуға болады

$$c_p - c_v = R \quad (3.12)$$

(3.12) тендеуін Майер тендеуі деп атайды.

Идеал газдардың жылуsыйымдылықтары негізінен температураға байланысты өзгереді. Сондықтан олар ақиқат және орташа жылуsыйымдылықтар деп бөлінеді.

t_1 және t_2 температуралар аралығында берілген процестің орташа жылуsыйымдылығы c_{op} деп, газға әкелінген жылулық мөлшерінің соңғы және бастапқы температуралар айырмасына ($t_2 - t_1$) қатынасын айтады.

Практикалық есептерде жылуsыйымдылықтардың орташа мәндері кестелердің көлемін қысқарту мақсатында 0-ден $t^\circ\text{C}$ аралығында беріледі.

Термодинамиканың бірінші заңының есепті түрі $dq = du + pdv$ толық дифференциал болмайды, себебі оны интегралдау үшін оң жағындағы p мен v -ның арасындағы байланысты, демек газдың атқаратын процесін білу керек.

Егер дифференциалды екі мүшелікті интегралдаушы бөлгішке бөлсек, онда оны толық дифференциалға айналдыруға болатыны математикадан белгілі. Ондай бөлгіш ретінде абсолюттік температураны T алуға болады.

Сонда

$$\frac{dQ}{T} = \frac{c_v dT + pdv}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

мұндағы $du = c_v dT$ және $\frac{p}{T} = \frac{R}{v}$ екенін ескеру керек.

$\frac{dq}{T}$ өрнегі газ күйінің тендесулі өзгерген кезінде белгілі бір күй функциясының толық дифференциалы болып табылады. Ол функцияны *энтропия* деп атайды.

1 кг газ үшін оны s әрпімен белгілейді, өлшемділігі Дж/(кгК).

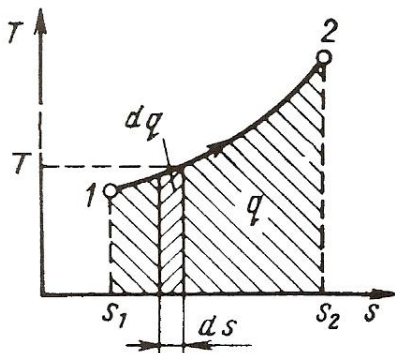
Сонымен, энтропияның есепті түрі төмендегідей

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (3.13)$$

Энтропия да энтальпия секілді күй функциясы болып табылады және де кәдімгі есептерде оның абсолюттік шамасы емес, процестердегі өзгеруі ғана пайдаланылады

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T}$$

Энтропия жөніндегі түсінік термодинамикалық есептерге өте бір қолайлы Ts -диаграммасын енгізуге мүмкіндік береді. Онда термодинамикалық жүйенің күйі нүктемен, ал термодинамикалық процесс қисық сызықпен бейнеленеді (3.4-сурет).



3.4-сурет

(3.13) тендеуін $dq = Tds$ деп жазып, оны интегралдасак

$$q = \int_1^2 Tds$$

Ts -диаграммада элементар жылулық dq табаны ds , биіктігі T -ға тең болатын элементар ауданға балама болады да, қисық сызық астындағы $12s_2s_1$ ауданы процестің жылулық мөлшеріне тең болады.

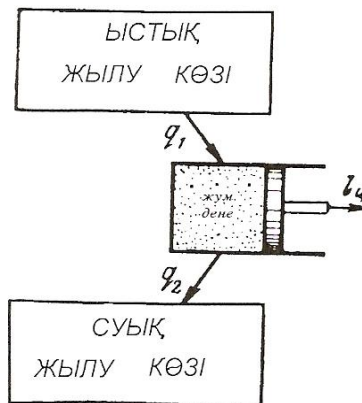
(3.13) тендеуінен ds және dq таңбаларының бірдей екенін көреміз, демек денені қыздырғанда ($dq>0$) оның энтропиясы артады ($ds>0$) және керісінше.

3.5. Термодинамиканың екінші заңы

Термодинамиканың бірінші заңы жылулық пен жұмыс арасындағы баламаның бар екенін анықтап, бірақ олардың қандай жағдайларда бірінен біріне өзгертетінін қарастырмайды. Мысалы, ол жылу процесінің өту бағыты, және де жылулықтың қыздырылған денеден суық денеге немесе кері қарай қандай жағдайларда өтетіні жөніндегі сұрақтарға жауап бермейді.

Жылулықтың жұмысқа өзгеруі тек қана жылу көзі жылуқабылдағыштың арасында температуралық айырма болғанда ғана іске асырылады. Сонымен бірге барлық жылулық толығымен жұмысқа өзгеруі мүмкін емес.

Жылу ағынының бағытын көрсетіп, жылулықтың жұмысқа өзгеруінің максималды мүмкіндік шегін көрсететін заңдылық *термодинамиканың екінші заңы* деп аталады. Оның маңызын түсіну үшін жылу машинасының схемасы 3.5-суретте келтірілген.

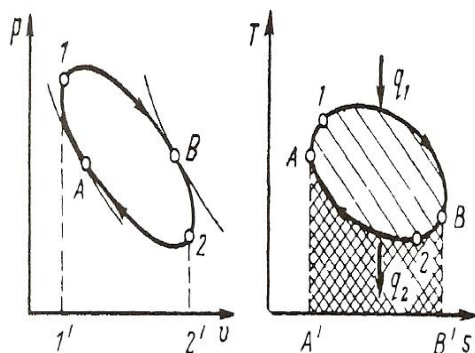


3.5 – сурет

Тәжірибеден көріп тұрғандай барлық дерлік жылу машиналарында ыстық жылу көзі, тұйық айналма процесс – цикл жасайтын жұмыстық дене және суық жылу көзі болу керек.

Ыстық жылу көзі ретінде отынның химиялық жану реакциясы, суық көзі ретінде – атмосфера, ал жұмыстық дене ретінде газдар немесе әртүрлі булар қолданылады.

Қозғағыш жұмысы былай жүзеге асырылады (3.6-сурет).



3.6 – сурет

Жұмыстық дене $1B2$ қисық сызығымен ұлғайып $1B22T$ ауданына тең болатын жұмыс жасайды. Жұмысты қайта жасау үшін жұмыстық денені бастапқы күйге қайтып оралта білу керек. Ол $2B1$ процесі бойынша іске асырылуы мүмкін, бірақ онда сығылу жұмысы ұлғаю жұмысына тең болып, қорытынды жұмыс нөлге тең болады.

Қозғағыш механикалық энергияны үнемі өндіріп тұруы үшін сығылу жұмысы ұлғаю жұмысынан кем болу керек, мысалы $2A1$ процесі бойынша. Онда сығылу жұмысының мөлшері $2A11'2'$ ауданына тең болады. Бұның нәтижесінде жұмыстық дененің әр килограммы бір циклде ауданы $1B2A1$ -ге тең пайдалы жұмысты $l_{ц}$ өндіреді.

Егер қозғағыш циклін Ts -диаграммасында қарастырсақ, онда A және B нүктелерінен екі тік адиабаттар жүргізіп, оны екі бөлікке бөлуге болады: $A1B$ бөлігі – мұнда мөлшері q_1 болатын

жылулық беріледі және $B2A$ бөлігінде мөлшері q_2 -ге тең жылулық бұрып әкетіледі.

Сонымен жылу қозғағышының үздіксіз жұмыс істеуі үшін жұмыстық денеге ыстық жылу көзінен q_1 жылулығы әкелініп және суық жылу көзіне q_2 жылулығы бұрып әкетілетін циклді процесс қажет.

Циклдегі пайдалы жұмысқа түрленген жылулық мөлшерінің жұмыстық денеге әкелінген барлық жылулық мөлшеріне қатынасын сол циклдің пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) деп аталады

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_u}{q_1}$$

Пайдалы әсер коэффициенті жылу қозғағышының жетілдіру дәрежесін бағалайды. ПӘК үлкен болған сайын әкелінген жылулықтың үлкен бөлігі пайдалы жұмысқа түрленіп отырады.

Барлық әкелінген жылуды толығымен жұмысқа айналдыратын қозғағышты мәңгілік қозғағыштың екінші түрі деп атайды.

Сонымен термодинамиканың екінші заңын төмендегідей тұжырымдауға болады: «Мәңгілік қозғағыштың екінші түрі мүмкін емес».

3.6-суретінде көрсетілген цикл тура цикл болып табылады. Бұл циклде қозғағыштан пайдалы жұмыс l_u алынады. Сонымен қатар кері цикл де орын алады. Ол циклдерде ұлғаю жұмысы сығылу жұмысынан кіші болады да, сыртқы ортаның жұмысының әсерінен іске асырылады. Суретте өту бағыты – сағат тіліне қарсы бағытта. Мұнда жұмыстық денеге жылу қабылдағыштан q_2 жылулық мөлшері әкелініп және циклда мөлшері l_u -ға тең сыртқы ортаның жұмысы жұмсалынып, ыстық жылу көзіне q_1 мөлшерлі жылулық беріледі.

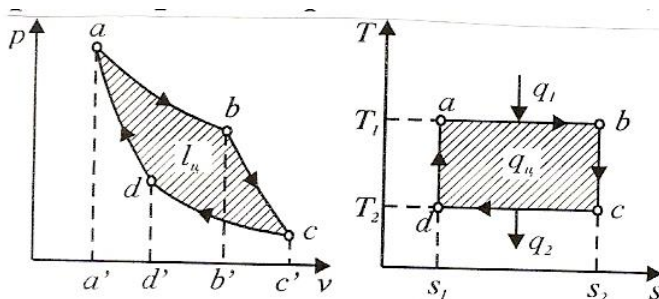
Суытқыш коэффициенті мөлшері бірге тең жұмыс жұмсалынғандағы жылу қабылдағыштан алынған жылулық санын көрсетеді, әдетте ол бірден үлкен сан болады.

3.6. Карно циклі

Жылу қозғағышы үздіксіз жұмыс істеу үшін температурасы T_1 , ыстық жылу көзі мен температурасы T_2 суық жылу көзі керек. Жылу берілу мен бұрып әкетілу процестері теңдесулі процестер арқылы өту үшін олар тек изотермалы процестер болуы керек. Ал жұмыстық денені T_1 , температурасынан T_2 -ге дейін теңдесулі процесте салқындату үшін адиабатты ұлғаю процесі арқылы ғана іске асырылады. Циклді тұйықтау үшін суық жылулық көзіне изотермалы процесте жылулық бұрып әкетіліп, ары қарай адиабатты процесте бастапқы күйге жеткізілуі керек. Сонымен, екі изотерма мен екі адиабаттан тұратын циклді 1824 ж. француз ғалымы Карноның тұжырымдауымен Карно циклі деп атайды (3.7-сурет).

Мұнда ab және cd процестері тұрақты температурада өтетін изотермалық процесс болады $T_1 = \text{const}$ және $T_2 = \text{const}$, және де $T_1 > T_2$. Ал bc және da процестері адиабатты болады, мұнда $dq = 0$. Термодинамиканың бірінші заңына сәйкес

$$\begin{aligned} q_{ab} &= \Delta u_{ab} + l_{ab}; & 0 &= \Delta u_{bc} + l_{bc}; \\ q_{cd} &= \Delta u_{cd} + l_{cd}; & 0 &= \Delta u_{da} + l_{da} \end{aligned}$$



3.7-сурет

Тұрақты температурада ішкі энергияның өзгеруі нөлге тең, демек $\Delta u = 0$. bc және da адиабатты процестердегі ішкі

энергияның өзгеруі бірдей болады, себебі олар бір температуралық аралықта өтеді ($\Delta u_{bc} = \Delta u_{da}$).

Циклдің істеген жұмысын анықтасақ

$$l_y = l_{ab} + l_{bc} - l_{cd} - l_{da} = q_{ab} - q_{cd}$$

немесе

$$l_y = q_1 - q_2$$

Циклдің термиялық ПӘК-і

$$\eta_t = 1 - \frac{q_{cd}}{q_{ab}} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (3.14)$$

Ts -диаграммасы бойынша

$$q_1 = T_1(s_2 - s_1) \quad \text{және} \quad q_2 = T_2(s_2 - s_1)$$

Соңғы өрнектерді (3.14)-ке қойсақ, онда

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3.15)$$

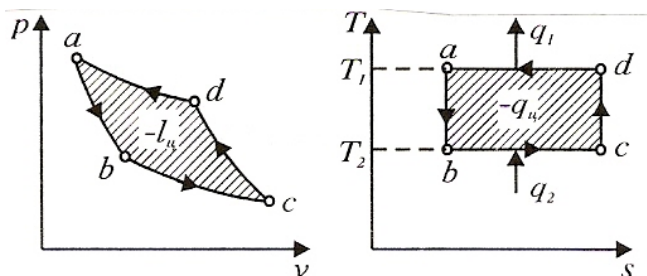
Сонымен, Карно циклінің ПӘК-і ыстық және суық жылулық көздерінің температураларының қатынасы арқылы анықталады. Егер T_1 -дің мәні өссе немесе T_2 -нің мәні кемісе, онда термиялық ПӘК артады. Егер жылу көздерінің аралығындағы жылу құламасы жоқ болса ($T_1 = T_2$), онда $\eta_t = 0$.

Карно циклі берілген температуралық аралықта (T_1-T_2) ең жоғарғы мүмкіншіліктегі термиялық ПӘК-ке ие болады. Мұның құндылығы да сонда. Сол температура аралығындағы кез келген циклдің ПӘК-і одан төмен болады.

Карно циклі кері бағытта да іске асуы мүмкін. Оны кері Карно циклі деп атайды (3.8-сурет). Ол цикл де екі адиабат пен

екі изотермадан тұрады. Сонымен бірге жылулық суық жылу көзінен ыстық жылу көзіне сыртқы ортаның жұмысының көмегімен беріледі. Бұл суытқыш машинасының циклі болып табылады. Кері Карно циклі үшін суытқыш коэффициенті мынаған тең:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (3.16)$$



3.8-сурет

Бұл тендеуден мынадай қорытынды жасауға болады. Суытқыш камерасы мен қоршаған ортаның температураларының айырмашылығы неғұрлым төмен болған сайын жылулықты суық денеден ыстық денеге алып беру үшін солғұрлым аз жұмыс істеу керек және суытқыш коэффициенті де арта түседі.

Кері Карно циклін пайдаланып Клаузиус ұсынған термодинамиканың екінші бастамасының тағы бір анықтамасын келтіруге болады: жылулық өз бетімен температурасы төмен денелерден температурасы жоғары денелерге өте алмайды. Ол тек сыртқы жұмыстың көмегімен іске асырылады.

Жоғарыда айтылғандай, берілген температура аралығында Карно циклінің ПӘК-і ең үлкен мүмкіншілік мәніне ие болады. Бірақ та пішіні Карно циклінен өзгеше қосымша жағдайларда ПӘК-і Карно циклінің ПӘК-іне тең циклдерді іске асыруға

болады. Ондай циклдерді қорытылған немесе регенеративті деп атайды.

Белгілі бір қайтымды еркін 1-2-3-4 циклін қарастырайық (3.9-сурет). Бұл циклде 1-2 изотермалық процесі бойынша жұмыстық денеге q_1 жылулық мөлшері берілсін де, 3-4 изотермалық процесі бойымен q_2 жылулық мөлшері бұрып әкетілсін. Соңғы 2-3 және 4-1 эквидистантты (қатар қисық сызықты) процестерде 2-3 сығылу процесінде q_{2-3} мөлшерде жылулық бұрып әкетіліп, ал 4-1 ұлғаю процесінде жұмыстық денеге q_{4-1} мөлшерде жылулық берілсін. Аралық жылу қабылдағыш пен жылу бергішті жылулық *регенераторлар* деп атайды. Циклдің жұмысы q_1 және q_2 жылулық айырмасына тең.

Сондықтан

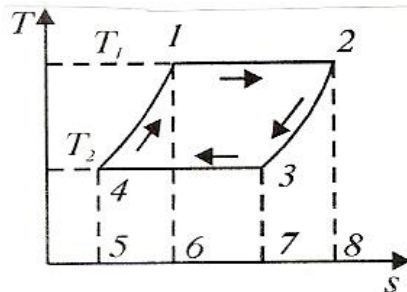
$$l_u = q_1 - q_{2-3} - q_2 + q_{4-1}$$

немесе

$$l_u = q_1 - q_2$$

Бұл циклдің термиялық ПӘК-і

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



3.9-сурет

Демек, қарастырылған циклдің термиялық ПӘК-і Карно циклінің термиялық ПӘК-іне тең болды.

Бақылау сұрақтары:

1. Жұмыстық дене күйінің негізгі параметрлері мен өлшем бірлігін атап шығыңыз.
2. Негізгі термодинамикалық процестерді атап шығыңыз және бұл процесстер арасындағы энергобалансты көрсетіңіз.
3. Термодинамиканың бірінші заңының мәнін түсіндіріңіз және оның математикалық өрнегін жазыңыз.
4. Энтальпия, жылуסיымдылық және энтропия дегендеріміз не?
5. Термодинамиканың екінші заңының мәні неде? Осы заңның қайсыбір түсініктемелерін беріңіз.
6. Карно циклі дегеніміз не? Оның тиімділігі немен бағаланады?
7. p, v және T, s -диаграммаларындағы су мен буға тән аймақтарды және сызықтарды көрсетіңіз.

4. ЭЛЕКТРЭНЕРГИЯСЫН ЭЛЕКТРСТАНЦИЯЛАРДА ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

4.1. Электрстанциялардың түрлері

Бүгінгі таңда электрэнергиясы төменгі электрстанцияларда өндіріледі:

- жылу электрстанциялары ЖЭО. Олар конденсациялы (КЭС), жылумен қамамасыз ету (жылу электрорталықтары – ЖЭО) және газтурбины (ГТК) болып бөлінеді. Еліміздің басым көпшілік ауданын қамтамсыз ететін ірі КЭС-тер мемлекеттік аудандық электрстанция (МАЭС-ГРЭС) деп аталады;

- гидроэлектрстанциялар (ГЭС) мен гидрошоғырландырушы электрстанциялар (ГШЭС-ГАЭС);

- атом электрстанциялар (АЭС);

- күн немесе гелиоэлектрстанциялар (КЭС);

- дизельді электрстанциялар (ДЭС);

- желэлектрстанциялар (ЖЭС);

- тасу электрстанциялары (ТЭС).

Электрстанцияларды салу және пайдалану барысында қажетті болатын олардың кейбір ерекшеліктеріне тоқталып өтелік.

Жылу конденсациялы электрстанциялар сумен жабдықтауға қолайлы, отын көзі бар жерге мүмкіндігінше жақын орналастырылады. Олар қуаты 200-ден 1200 мВт, өндірілген энергияны 110–750 кВ желіге беретін бірқатар блоктық агрегаттардан (қазан-турбогенератор-жоғарылатқыш трансформатор) тұрады. КЭС агрегаттарының ерекшелігі – олардың төмен маневрлігі: жіберуге дайындық, айналу желімен синхрондалу және жүктемені жинау үшін 3–6 сағат уақыт кетеді. Сондықтан олар үшін номинал жүктеме мен агрегат конструкциялы және отын түрі арқылы анықталатын, техникалық минимумға сәйкес келетін жүктемеге дейінгі біркелкі жүктемелікпен жұмыс істейтін режим қажет. КЭС пайдалы әсер коэффициенті 32–40 %-дан аспайды және олар қоршаған ортаға көп зиян келтіреді – атмосфераны ластайды, сумен жабдықтау көздерінің жылулық режимін өзгертеді.

Жылумен қамтамасыз ету электрстанциялар жылу тұтынушыларға жақын орналастырылады және олар әкелінген отындарды пайдаланады. Олардың п.ә.к. 60–70 %, агрегаттарының бірлік қуаты 30–250 МВт. Бұл станциялар да КЭС секілді қоршаған ортаға едәуір теріс әсерін тигізеді.

Атом электрстанциялары сумен жабдықтау көздері бар кез келген географиялық жерлерге орналастырылады. Тұтынатын отын (уран концентраты) мөлшері көп емес, сондықтан транспорттық байланысқа деген талап та жеңіл. АЭС жоғары кернеулі желіге энергия беретін бірқатар блок түрлес агрегаттардан тұрады. АЭС жабдықтарының жұмыс істеу сенімділігіне жоғары талап қойылады. Пайдалы әсер коэффициенті 35–38 %. Іс жүзінде АЭС атмосфераны ластамайды. Радиоактивті газ бен аэрозольдің ауаға жіберуі аз мөлшерде болатындықтан, Атом станцияларын үлкен қалалар және жүктемелік орталықтарына жақын маңда орналастыруға болады. Бұл станцияларды пайдаланғандағы қиын проблема – пайдаланылған отындық элементтерді көму немесе қайта қалпына келтіру.

Гидроэлектрстанциялары гидроресурстар жеткілікті және құрылыс жүргізуге ыңғайлы жерлерге салынады. Сондықтан ГЭС көбінесе электр тұтынушылар орналасқан жерлерден алшақтау орналасады. ГЭС тұрғызғанда көптеген мәселелерді бірден шешуге тырысады, яғни: электр энергиясын өндіру, кеме қатынасы шартын жақсарту, жер суландыру. Гидроагрегаттардың бірлік қуаты 640 МВт дейін жетеді. Электрлік бөлігі генератор – жоғары кернеулі желіге қуат беретін трансформатор блоктық схема бойынша іске асыралады. Гидроагрегаттар жоғары маневрлі: айналу, желімен синхрондану және жүктемені жинау уақыты 1–5 мин уақытты қажет етеді. Су қоймасы бар ГЭС жұмысын, агрегаттарды. Жиі қосу және тоқтату жүйелері арқылы, тәулік кестесіндегі жүктеменің шарықтап тұрған шағында пайдалану тиімді. ГЭС пайдалы әсер коэффициенті 85–87 %. Су қоймасын тұрғызу, халық шаруашылығына қажетті едәуір жерді су басуына, өзендердің су режиміне, балық шаруашылығына, су қоймасы аймағындағы микроклиматқа,

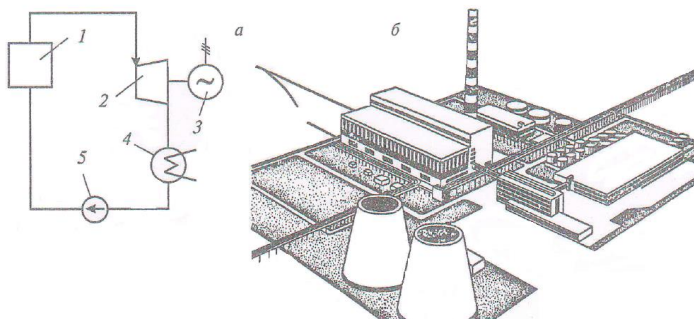
сонымен бірге орман және ауыл шаруашылығына үлкен әсерін тигізеді.

Гидрошоғырландырушы электрстанциялар жүктемеге сәйкес энергожүйелердің тәулік кестесін түзеуге арналған. Минимал жүктеме кезінде олар насостық режимде (төменгі су суатынан суды сорып энергия жинақтайды), ал жүктеме максимал болған кезде генераторлық режимде жұмыс істеп, шарықтау шақтағы жүктеменің бөлігін өзіне қабылдайды. ГШЭС-ды, ГЭС болмайтын немесе ол жүктеменің шарықтау шағында қажетті қуатты шығара алмайтын жүйелерде салады. Олар жоғары кернеулі желіге энергия беретін және насостық режимде желіден энергия тұтынатын бірқатар блоктардан тұрады. Агрегаттар жоғарыменаврлі және насостық режимде желіден энергия тұтынатын бірқатар блоктардан тұрады. Агрегаттар жоғарыманеврлі және насатық режимнен генераторлық режимге немесе синхронды компенсатор режиміне тез арада қосылса алады. Пайдалы әсер коэффициенті 70–75 %). Олар сумен жабдықтау көздері бар және жергілікті геологиялық жағдайлар напорлы суқоймасын салуға мүмкіндік беретін жерлерде тұрғызылады.

4.2. Бутурбиналы электрстанциялар

Үлкен қуатты жылуэлектростанцияларында жылудың жұмысқа айналуы, үлкен қысымды су буымен температураны негізгі жұмыстық дене ретінде пайдаланатын циклде өтеді. Су буы бугенераторында өндіріледі; (бу қазандықтарында); қазандықтың оттығында көмір, мазут, газ, ж.т.б. әртүрлі органикалық отындар жағылады.

Су буы көмегімен жылудың жұмысқа айналу термодинамикалық циклін XIX ғ. ортасында инженер-физик У. Ренкин ұсынған. Конденсациялы электрстанциясының (КЭС) Ренкин циклімен жұмыс істейтін принципиал жылулық схемасы 4.1, а-суретте, ал оның жалпы түрі 4.1, б-суретте көрсетілген.



4.1-сурет. Ренкин циклімен жұмыс істейтін конденсациялы электрстанцияның принципіал схемасы

Жағылған отынның жылуымен 1 бугенераторында 5 насос арқылы берілген су бұға айналып, 2 турбинаға беріледі. Турбина 3 генераторды айналдырады. Турбинада будың жылулық энергиясы механикалық жұмысқа түрлендіріледі де, өз кезегінде генераторда электрэнергиясына түрленеді. Турбинадан шыққан пайдаланылған бу 4 конденсаторда конденсирленеді (суға айналады). Насос 5 конденсатты қайтадан бугенераторына сорып, цикл тұйықталады.

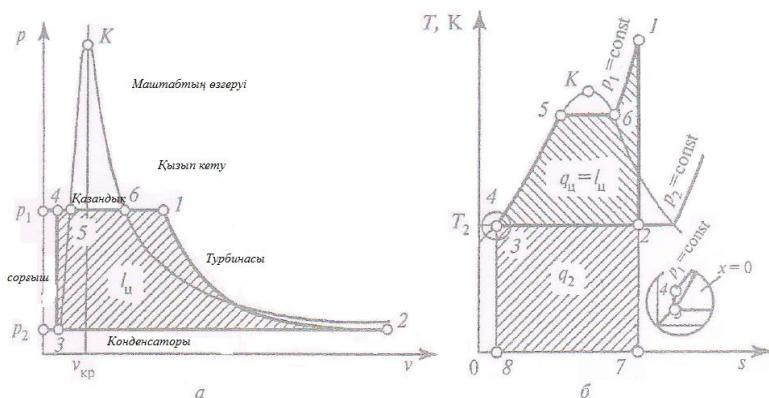
4.2, а және б-суреттерінде қызған будың p , v және t , s -диаграммаларындағы Ренкин циклі бейнеленген. Мұндағы процестер:

- изобара 4-5-6-1- q_1 отынның жану жылылығы арқылы өтетін судың ысу, булану және бугенераторындағы будың ысу процесі;

- адиабата 1-2-пайдалы сыртқы A_a^T жұмысын істейтін турбинадағы будың кеңею процесі;

- изобара 2-3-суытатын сумен әкетілетін q_2 жылуы бар пайдаланылған будың конденсациялану процесі;

- адиабата 3-4-сырттан берілетін A_a^c жұмысын шығындаған, бугенераторындағы қысымды бастапқы қалпына келтіретін қоректендіру насосымен конденсатты сығу процесі;



4.2-сурет. Қызған будың p, v – және T, S – диаграммаларындағы Ренкин циклі

Термодинамиканың екінші заңына сәйкес, бір цикл ішіндегі пайдалы жұмыс әкелінген және әкетілген циклдегі жылулардың айырымына тең:

$$A_{\text{ц}}^{\text{пай}} = q_1 - q_2 = A_a^T - A_a^c.$$

Ренкиннің термикалық ПӘК мына теңдеумен анықталады.

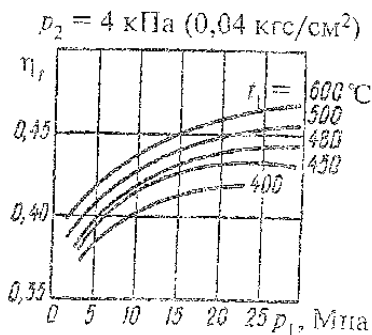
$$n_1 \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{A_a^T - A_a^c}{q_1}.$$

Ренкин циклін термодиналық зерттеу, оның тиімділігінің будың бастапқы және соңғы параметрлеріне (қысым мен температура) тәуелді екендігін көрсетеді.

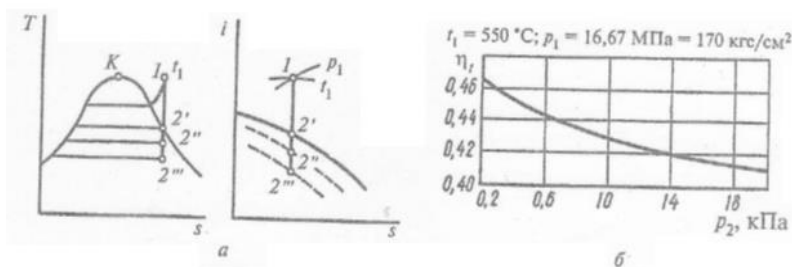
Зерттеу бойынша будың бастапқы p_1 мен t_1 параметрлері өскенде, ал соңғы p_2 мен t_2 азайғанда, n_1 өседі.

Қазіргі кездегі жылу электрстанцияларында негізінен пайдаланылатын будың параметрлері $p_1 = 23,5$ МПа (240 кг/см²) және $t_1 = 565$ °С. Тәжірибелік құрылғыларда қолданылатын параметрлер $p_1 = 29,4$ МПа (300 кг/см²) және $t_1 = 600-650$ °С.

Конденсатордағы қысымның төмендеуі суытатын судың температурасымен шектеледі. Қысым $p_2 = 3,5-4$ кПа (0,035-0,040 кгс/см²) болғанда $t_2 = 26,2-28,6$ °С, ал бұл жағдай суытатын судың температурасы 25–30 °С болғанда болады. $t_1 - t_2$ айырымы аз болғанда жылу алмасу қарқыны бәсеңдейді, ал конденсатордың мөлшері ұлғаяды. Оған қоса, p_2 төмендегенде будың меншік көлемі өседі, ал бұл да конденсатордың мөлшерін ұлғайтады және турбинаның соңғы стыларын көбейтеді. 4.3 және 4.4-суреттерінде p_1 мен t_1 өсуімен p_2 төмендеуінің термиялық ПӘК тигізетінін көрсететін графиктер келтірілген.

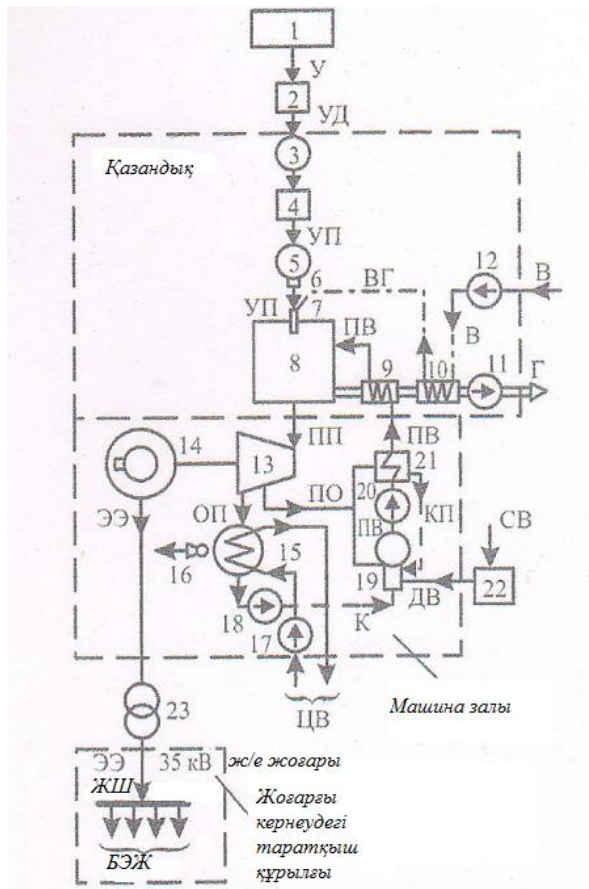


4.3-сурет. Будың бастапқы қысымы мен температурасы өсуінің Ренкин циклі экономдығына әсері



4.4-сурет. Конденсатордағы қысымның төмендеуінің ұлғаю соңындағы будың ылғалдығына және Ренкин циклінің экономдығына әсері

Бутурбиналы электрстанцияларының негізгі жабдықтары – қазандық және турбина агрегаттары. Қазандық агрегаты, турбинаны айналдыратын буды алу үшін қолданылады. Турбина агрегаты бу турбинасымен электр энергиясын өндіретін электргенераторынан тұрады. Өндірілген электрэнергиясы станцияның таратушы құрылғысы арқылы энергетикалық жүйенің электржелісіне беріледі. Көміртозаңымен жұмыс істейтін бутурбиналы конденсациялы электрстанциясының технологиялық схемасы 4.5-суретте келтірілген.



4.5-сурет. Бутурбинасы конденсациялы электрстанцияның технологиялық схемасы

1 отын қоймасынан У кесек көмір 2 көміруатқыш құрылғыға түсіп ұсақталады. УД Ұсақталған көмір 2 көмір бункерінен 4 көмір диірменінде ұнтақталады. Диірменнен УП көмір тозаңы қазанның қасында орналасқан 5 бункерге келіп түседі. Одан көмір тозаңы 6 тозаң тасымалдаушы арқылы шығарылып, тозаң құбырымен қазандықтың 7 шілтеріне (олар оттықта бірнешеу) бағытталады да ВГ ыстық ауамен оттыққа 12 желдеткішпен үрленеді.

Қазандық өнемділігіне сәйкес тозаңтасымалдағыш оттыққа берілетін көмір тозаңының мөлшерін өзгертіп отырады. Көмір тозаңының жануын қамтамасыз ететін ВГ ыстық ауа алдын ала 10 ауаысытқыштан өтеді. Мұнда ол Г түтіндік газбен қыздырылады. Түтіндік газ 11 түтін сорғышпен сорылып, сүретте көрсетілмеген мұржа арқылы атмосфераға шығарылады. В суық ауа сырттан алынады.

Оттыққа берілетін ыстық ауа отынның жануын жақсартады, яғни ондағы температураны жоғарылатады. Көмір тозаңы, шырақ секілді, үлкен температуралы жалынмен асылған күйде жанады.

Шығарылған газ 9 экономайзердегі қазандыққа берілетін ПВ коректендіру суын жылыту үшін пайдаланылады.

Қоректендіру суы мен ауаны жылыту үшін шығарылатын газды пайдалану, жылу шығынын азайтып, қазандық агрегатының ПӘК көтереді.

8 қазандықтан ПП ыстық бу букұбырымен 13 бу турбинасына беріледі. Онда ол механикалық жұмыс істеп бірнеше сатыдан өтеді, қысымы мен жылулығы төмендей береді.

Турбинада пайдаланылған будың қайсыбір бөлігі ПО (бөлініп алынған бу), коректендіру суын жылыту үшін турбинаның аралық сатысынан бөлініп алынады. Қалған бу турбинаның келесі сатылары арқылы өтеді. Толығымен пайдаланылған турбинадағы бу ОП 15 конденсаторда конденсирленеді.

Бу турбирасында пайдаланылған будың ақырғы қысымы 0,03–0,04 атм кұрайды. Мұндай вакуум конденсаторда жасалынып, ұсталынып тұрады. Бұған қол жеткізу, конденсаторға түсетін пайдаланылған буды қарқынды суыту

мен жылдам конденсациялау арқылы іске асырылады. Ал бұл, өз кезегінде конденсатор құбырына өзен, тоған, көл секілді қайсыбір суаттардан 17 циркулярлы насоспен сорылып алынған айналмалы су жіберу арқылы жасалынады.

Егер станция маңайында қажетті суаттар болмаса арнайы құрылыстарда, мысалы градирняда жасанды суытылатын, бір көлемді айналмалы су пайдаланылады.

Градирня – биіктігі 150 м дейін болатын, диаметрі 40–70 м, төменнен жоғары қарай ауаның табиғи ағысын туғызатын қуыс тартқыш мұнара. Градирняның ішінде 10–20 м биіктікте су шашыратқыш құрылғы орналасқан. Су тамшылары жоғарыдан төмен қарай ауаға қарсы жауын секілді жауады. Бұл кезде тамшылардың біраз бөлігі буланады да конденсатордан ысып келген су суытылады. Суытылған су төменгі бассейнде жиналып насоспен қайтадан конденсаторға беріледі.

Пайдаланылған бумен және қайсыбір саңылаулар арқылы конденсаторға кірген ауа 16 бу эжекторымен сыртқа шығарылады. Эжектор дегеніміз – газды немесе сұйықты сорып алғыш құрылғы.

Конденсатордан К конденсат 18 конденсаторлық насоспен 19 деаэраторға сорылады. Деаэратор қоректендіру суын еріген газдардан, әсіресе ауа оттегісінен тазарту үшін пайдаланылады. Ауа оттегі коррозия туғызып қазан құбырларын тез арада істен шығаруы мүмкін. Деаэраторда қорек суы турбинаның аралық сатысынан бөлініп алынған ПО буымен, ондағы еріген газдар қарқынды бөлінуін қамтамасыз ететін температураға дейін қыздырылады.

Деаэратордан қорек суы 20 насоспен сорылып алынады. Қазанға дейін қорек суы бірнеше суқыздырғыштар (суретте бір ғана 21 суқыздырғыш көрсетілген) арқылы өтеді. Бұл суқыздырғыштарда су турбинадан аралық алынған бумен қыздырылады. Суқыздырғыштарға келген бу конденсирленеді, КП конденсат деаэраторға жіберіледі. Қорек суы су экономайзерінде 9 түтіндік газдармен қосымша қыздырылады.

Қазандықты қоректендіру жүйесіндегі шығынды толықтыру үшін оған 19 деаэротор арқылы ДВ қосымша су беріледі. Қосымша су таза сумен қоректенетін 22 арнайы

құрылғыда алдын ала химиялық жолмен тазартылады. 13 бу турбинасындағы алынған механикалық энергия 14 генератор арқылы ЭЭ электрэнергиясына түрленеді. ЭЭ 23 трансформатор арқылы таратушы құрылғыларға беріледі.

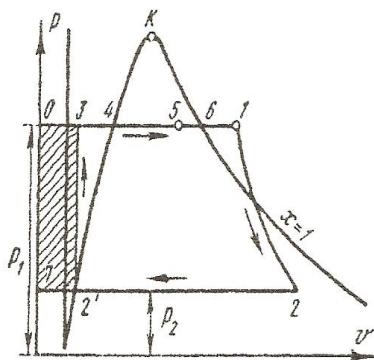
Конденсациялы электрстанцияларында жылу энергиясының едәуір бөлігі суытатын сумен жоғалады, сондықтан да олардың ПЭК 40–42 % аспайды. Ал бұл судың температурасы тым төмен болғандықтан, оны әрі қарай пайдалану мүмкіншілігі жоқ.

Жылу электрстанциялары ауаны ластайтындықтан елді мекендерден алыстау, отын базаларына жақын салынады. Агрегаттарды қосу және тоқтату бірнеше сағаттан бірнеше тәулікке дейін созылады. Бұл электрстанциялары жүктеме графигінің негізгі бөлігінде жұмыс істейді. Блоктарды тек жоспарланған жөндеу жұмысын жасау үшін екі-үш жетіге ғана тоқтатады.

4.3. Бутурбиналы қондырғының циклдері

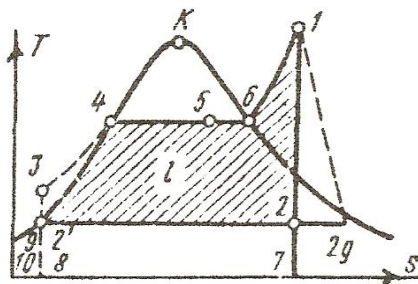
Бутурбиналы қондырғының жұмыс істеу тәртібін жағарыда қарастырдық, бұл турбинадағы жұмыстық дене қыздырылған судан алынған бу.

Бутурбиналы қондырғының негізгі циклі ретінде идеалды *Ренкин циклі* қабылданған. Бұл циклде жұмыстық дене конденсаторда толығымен сұйытылады да, қазанға суды қайта бергенде тиімділігі жоғары, ауқымы кіші қорек су насосы қолданылады. Оның пайдаланатын қуаты бутурбиналы қондырғының қуатына қарағанда әлдеқайда аз болады. Сонымен бірге, Ренкин циклінде аса қыздырылған бу қолдану мүмкіндігі пайда болып, оның орта температурасы жоғары болғандықтан, циклдің ПЭК-і артады. 4.6-суретте p - v -диаграммасында идеалды Ренкин циклін қарастырайық: 4–5 сызығы бүтүзілу процесі; 5–6 – буды буқызырғышта кептіру, сонан соң 6–1 – буды p_1 қысымда есепті температураға дейін қыздыру. Алынған бу бу машинасының цилиндрінде 1–2 адиабатасы бойынша p_2 қысымына дейін ұлғаяды. 2-2' процесінде бу толығымен суға айналады да, 2'-3 процесі насоста іске асырылады.



4.6-сурет

3–4 – суды қайнау күйіне жеткізу процесі. Сонан соң аталған процестер қайталанады. Насостың жұмысы штрихталған 0-3-2'-7 ауданымен бейнеленген. Ts-диаграммасында қыздырылған будың энтальпиясы h_1 9-2'-3-4-6-1-7-10-9 ауданымен бейнеленеді (4.7-сурет). Ал будың конденсаторға кіре берісіндегі энтальпиясы h_2 9-2'-2-7-10-9 ауданымен бейнеленген.



4.7-сурет

Конденсатордан шыққан судың энтальпиясы h_2 9-2'-8-10-9 ауданына тең. Ренкин цикліндегі будың пайдалы жұмысы 1-2'-3-4-6-1-2-2' ауданымен бейнеленеді.

Ренкин циклінің термиялық ПӘК-і белгілі формула бойынша табылады:

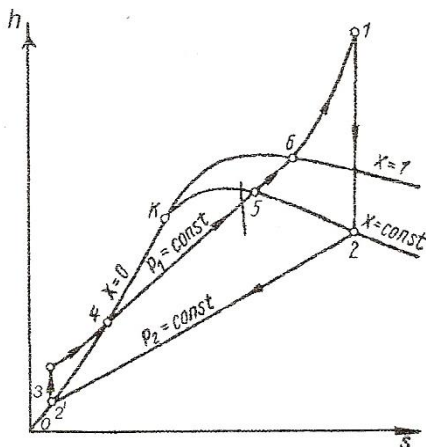
$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

Берілген меншікті жылу q_1 бастапқы және соңғы нүктедегі энтальпиялардың айырмасына тең: $q_1 = h_1 - h_3$. Оның Ts -диаграммасындағы шамасы 8-2'-3-4-6-1-7-8 ауданымен өлшенеді. Конденсатордағы әкетілген жылу мөлшері – $q_2 = h_2 - h_{2'}$, ал ауданы 2'-2-7-8-2'-ға тең. Орнына қойсақ, онда:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_3) - (h_2 - h_{2'})}{h_1 - h_3} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_3 - h_{2'})}{h_1 - h_3}$$

Мұндағы пайдалы жұмыс мөлшерінде насосқа жұмсалатын жұмыс есепке алынбаған және оның шамасы pv -диаграммада 1-2-7-0-1 ауданына тең болады.

Егер осы аталған циклді hs -диаграммасында қарастырсақ (4.8-сурет), онда ордината бойынша 1 және 2 нүктелерінің арасындағы қашықтық бу турбинындағы будың адиабатты ұлғаюына тең болады. 2 және 2' нүктелерінің арасындағы ордината бойынша қашықтық конденсатордағы будан p_2 қысымындағы алынған жылуға тең болады, т.с.с.



4.8-сурет

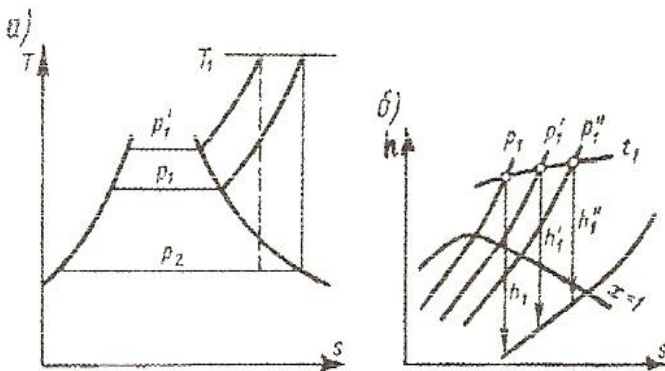
Сонымен, hs -диаграммасын қолдану термодинамикалық процестер мен циклдерді есептеуді анағұрлым жеңілдетеді, себебі мұнда жылу мөлшері процестердің бастапқы және соңғы нүктелерінің ордината бағытындағы арақашықтығымен өлшенеді (ал p_v және Ts -диаграммаларында ауданмен өлшенетін).

Ренкин циклінің ПӘК-ін будың әртүрлі бастапқы және соңғы күйлерінде зерттеу мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік туғызады: бутурбиналы қондырғының ПӘК-і будың бастапқы қысымы мен температурасы өскен сайын және конденсатордағы соңғы қысым кеміген сайын артады.

Егер будың бастапқы қысымы артса, тұрақты соңғы қысымда бутурбиналы қондырғының ПӘК-і артады, ал будың меншікті мөлшері азаяды.

Бастапқы қысымның p_1 ден p_1' -ге дейін өсуі қаныққан будың температурасының өсуіне, демек жылу берудің орта температурасының артуына әкеліп соғады да, (4.9, а-сурет) циклдің ПӘК-і үлкейеді.

Ал hs -диаграммасынан көрініп тұрғандай, будың бастапқы қысымының өсуімен бірге адиабатты жылу құламасы h , артады, бірақ будың соңғы ылғалдылығы көбейіп турбинаның ақырғы сатыларының қалақтарын талқандауды тездетеді. Будың соңғы ылғалдылығы 13–14 %-дан аспауы керек. Қазіргі кезде 30,0 МПа-ға дейінгі қысымдар игерілуде.



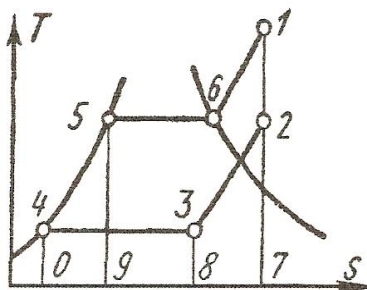
4.9-сурет

Температура мен бастапқы қысым артса, циклдың ПӘК өседі. Мысалы, бастапқы қысым 2,0 МПа болғанда, температураның 400-ден 500 °С-қа дейін өсуі циклдің ПӘК-ін 0,332-ден 0,355-ке дейін арттырады. Ал егер сол уақытта қысымды да 20,0 МПа-ға дейін арттырса, онда цикл ПӘК-і 0,405-тен 0,434-ке дейін артады.

Бастапқы температураның өсуі сонымен бірге будың меншікті мөлшерін де кемітеді. Қазіргі кезде температурасы 600 °С және одан да жоғары бу игерілуде. Будың температурасын көтеру металдың төзімділігіне байланысты, сондықтан ыстыққа төзімді төмен бағалы металдардың көптеп өндірілуі өте қажет.

Конденсатордағы соңғы қысымның кемуі циклдің термиялық ПӘК-ін арттырудағы өте тиімді құрал болып есептелінеді. Мысалы, бастапқы қысым 10 МПа және температура $t_1=600$ °С, ал соңғы қысым 0,1 МПа болғанда цикл ПӘК-і 0,308-ге тең болады да, соңғы қысымды 0,03 МПа-ға кемітсек, онда цикл ПӘК-і 0,356-ға дейін артады. Егер соңғы қысымды ары қарай 0,005 МПа-ға дейін кемітсек, онда цикл ПӘК-і 0,417-ге дейін өседі. Бірақ конденсатордағы соңғы қысым мәні буды суытатын судың температурасына байланысты болады, себебі қарқынды жылу алмасу үшін оның температурасы будың температурасынан 10–15 °С-қа кем болу керек. Ал төменгі қысымда будың қанығу температурасы 33 °С-қа дейін төмендейді.

Регенеративті цикл. Циклдің термиялық ПӘК-ін жылуды регенерациялау арқылы едәуір көтеруге болады. 4.10-суретте бутурбиналы қондырғының шартты регенеративті циклі көрсетілген. Мұнда қорек суын қыздыру (4–5 процесі) 2–3 процесіндегі бұрып алынған жылу арқылы жүзеге асырылады. Сонымен бірге 2–3 процесіндегі бұрып алынған жылу мөлшері (2-7-8-3-2 ауд.) 4–5 процесіндегі берілген жылуға тең болады (0-4-5-9-0 ауд.). Бұл аудандар, егер 4–5 және 2–3 қисық сызықтары эквидистантты болғанда ғана бір-біріне тең болады. Мұнда сыртқы жылу көзінен жұмыстық денеге берілген жылудың ортаинтегралды температурасы кәдімгі Ренкин цикліндегіден артық болғандықтан регенеративті циклдің ПӘК-і де үлкен болады.

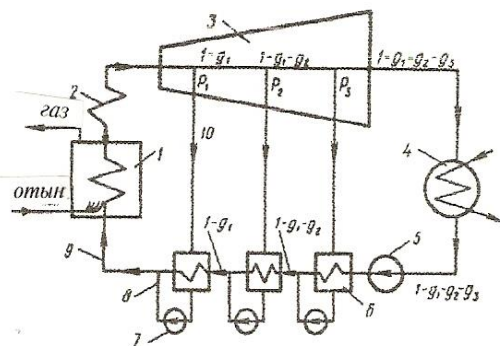


4.10-сурет

Бірақ бұл циклдегі қорек суын қыздыруға жұмсалған жылу мөлшері (2-7-8-3-2 ауд.) будың меншікті жұмысын азайтады, демек регенеративті циклде будың меншікті мөлшері көбейеді.

Практикада қорек суын регенеративті қыздыру бір-біріне тізбекті жалғанған қыздырғыштарда іске асады. Оларға бу турбинаның әр сатысынан бұрып алынады.

4.11-суретте қорек суын регенеративті қыздыратын үш алымды бутурбиналы қондырғының нобайы көрсетілген. Мұнда: 1 – бу қазаны; 2 – букыздырғыш; 3 – бу турбинасы; 4 – конденсатор; 5 – қорек суының насосы; 6 – беттік қыздырғыш; 7 – дренажды насос; 8 – қыздыру буының конденсаты; 9 – қорек суы; 10 – турбинадан алынған қыздыру буы.



4.11-сурет

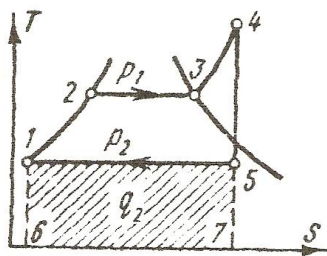
Бу қазанынан келетін будың қысымы p_1 , ал конденсатордағы қысымы – p_2 . Турбина арқылы будың бәрі өтпейді. Будың әр килограммынан бірінші қыздырғышқа мөлшері g_1 (кг) қысымы p' , екінші қыздырғышқа – g_2 (кг) қысымы p'' , үшінші қыздырғышқа – g_3 (кг) қысымы p''' бу алынады. Конденсаторға g (кг) бу бұрып алынады.

Сонда

$$g_1 + g_2 + g_3 + g = 1, \text{ кг.}$$

Турбинадан кейінгі конденсатордан алынған конденсат 5 насоспен тізбекті жалғанған 6 қыздырғыштар арқылы қыздырылып бу қазанына келіп түседі. Қорек суын қыздырудағы регенерацияны қолдану бутурбиналы қондырғы циклінің ПӘК-ін 10–14 %-ға дейін көтереді, сонымен бірге будың алғашқы параметрлері жоғары болған сайын үнемділік те өседі.

Жылуфикация негіздері. Ренкин циклінің ПӘК-і аса жайлы жағдайдың өзінде 50 %-дан аспайды, оның үстіне отынды жағу кезіндегі қазандықтағы жылу шығындары, турбинадағы үйкелістерді ж.б. есепке алсақ, конденсаторлы бутурбиналы қондырғының нақты ПӘК-і 30–35 %-дан аспайды.



4.12-сурет

Конденсатордағы шығындалатын жылу мөлшері Ts -диаграммасында (4.12-сурет) 1-5-7-6-1 ауданымен бейнеленеді.

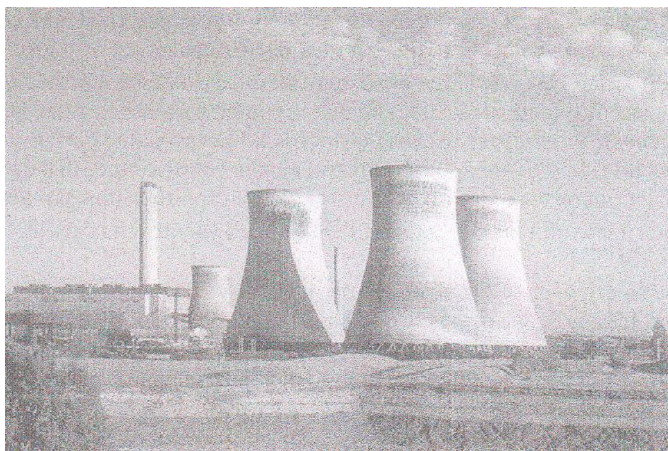
Егер соңғы p_2 қысымды 0,1-0,2 МПа-ға дейін көтерсек, онда турбинада жұмыс істеп шыққан буды халықтың коммуналды-тұрмыстық қажетіне қолдануға болады (моншада,

ғимаратты жылытуда, ыстық сумен жабдықтауда ж.б.). Егер соңғы қысымды 0,15-0,5 МПа-ға дейін жоғарылатсақ, онда жұмыс істеп шыққан буды фабрикалар мен зауыттардың өндірістік қажетіне пайдалануға болады. Екі жағдайда да отынның жану жылуы алдымен электр энергиясын өндіруге, сонан соң әртүрлі қызметтегі жылыту аспаптарында қолданылады. Осылай электр энергиясы мен жылуды қиыстырып өндіру жылуфикациялы қондырғыларда іске асырылады, ал жоғарыда айтылғандай мұндай станцияны *жылуэлектр орталығы* (ЖЭО) деп атайды.

4.4. Жылу электрорталықтары (ЖЭО)

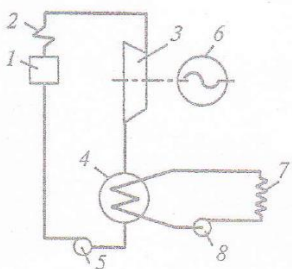
ЖЭО жылу және электр энергияларын комбинирленген түрде өндіреді. Бұл өндіру қазіргі пайдаланылып жүрген ЖЭО ПЭК-ін 65–70 % дейін көтере алады және жылумен қамтамасыз ету циклінде жұмыс істейді.

Көптеген ЖЭО кәсіпорындарда немесе оларға жақын жерге орналасады. Бұл жағдайда жылу энергиясы бу немесе ыстық су түрінде өнеркәсіптік және үй-жай қажеттілігіне пайдаланылады. ЖЭО сыртқы түрі 4.13-суретте келтірілген.



4.13-сурет. Жылуэлектрорталығының сыртқы түрі

Жылумен қамтамасыз ету құрылғысының қарапайым түрдегі схемасы 4.14-суретте көрсетілген.



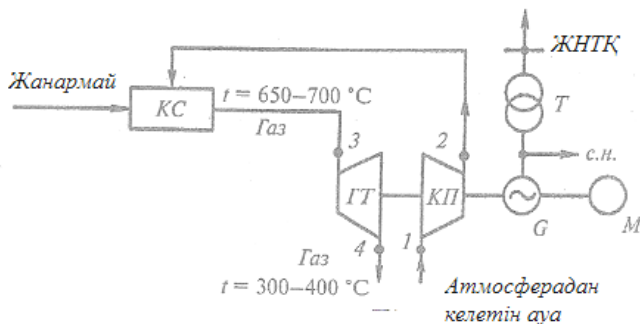
4.14-сурет. Жылумен қамтамасыз ету құрылғысының қарапайым схемасы

Суытушы су 8 насос әсерінен жылу тұтынушы қосылған тұйықталған контур бойымен айнала ағады. Оның 6 конденсатор шығысындағы температурасы t_H конденсат температурасынан біраз төмен болғанымен, ғимарат ішін жылытуға жеткілікті температурасы t_H конденсат 5 насоспен сорылып алынып сығылады да 1 қазандыққа беріледі. Суытатын су конденсирлеуші будың жылуымен қызып 8 насос тудыратын қысыммен 7 жылыту жүйесіне беріледі. Ондағы ыстық су өзінің жылуын қоршаған ортаға беріп үй ішіндегі қажетті температураны қамтамасыз етеді. Жылыту жүйесінен шыққан суыған су қайта конденсаторға беріліп турбинадан келген бумен ысытылады.

4.5. Газ турбиналы құрылғылар (ГТҚ)

ГТҚ-да жұмыстық дене ретінде жоғары температуралы сығылған газ қолданылады. Мұндай газ ретінде ауа мен сұйық газ тәріздес отынның жану өнімінің қоспасы пайдаланылады.

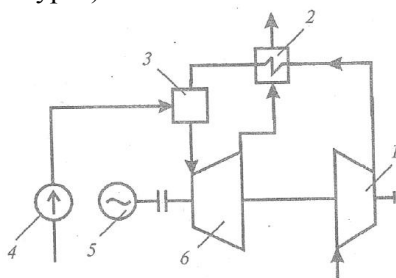
Газ турбиналы құрылғының принципиял схемасы 4.15-суретте көрсетілген.



4.15-сурет. Газ турбиналы электрстанцияның принципал схемасы:
 КС – жану камерасы; КП – компрессор; ГТ – газ турбины;
 Г – генератор; Т – трансформатор; М – қосу қозғалтқышы;
 С.Н. – өз керектігі

КП ауа компрессоры атмосфералық ауаны p_1 -ден p_2 қысымға дейін сығады да оны үзіліссіз КС жану камерасына жіберіп тұрады. Онда арнайы насос арқылы қажетті мөлшерде сұйық немесе газ тәріздес отында үнемі беріліп тұрады. Камерада пайда болған жану өнімі одан T_3 температурасымен шығады, ал оның p_2 қысымы КП компрессордың шығысындағы p_3 қысыммен бірдей ($p_2 = p_3$). Яғни, отынның жануы (жылу беруі) тұрақты қысымда өтеді.

ГТҚ ПӘК-ін көтеру үшін жылуды регенерациялау әдісі қолданылады (4.16-сурет).



4.16-сурет. Жылуды регенерациялайтын газтурбиналы құрылғының принципал схемасы:

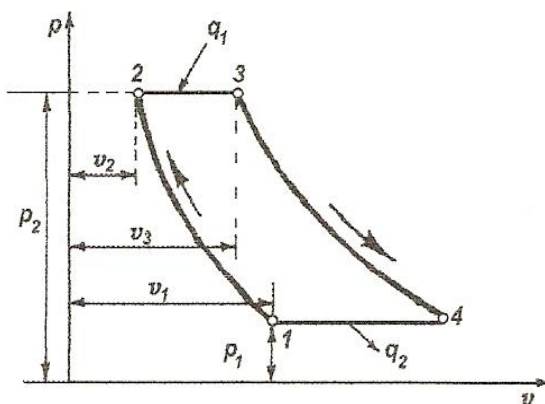
1 – компрессор; 2 – жылуалмастырғыш; 3 – жану камерасы;
 4 – отын насосы; 5 – генератор; 6 – газ турбины

Бұл әдістің ерекшелігі, жоғарыдағы принципіалды схемаға 2 жылу алмастырғыш қосылған. Жылу алмастырғышта компрессордан жану камерасына берілетін ауа турбинадан атмосфераға кететін пайдаланылған газбен қыздырылады. Нәтижесінде пайдаланылған газдың жылулық энергиясы пайдаланылып құрылғының ПӘК-і өседі.

Қазіргі кездегі газ турбиналы электрстанцияларының негізін қуаты 25-100 МВт газ турбиналары құрайды.

4.6. Газтурбиналы қондырғының циклі

Бұл қондырғының идеалды циклі p, v және T, s -диаграммаларында 4.17 және 4.18-суреттерінде көрсетілген. Бұл циклде жұмыстық денеден жылу алып кету изохора бойынша емес, изобара бойынша жүзеге асырылады.



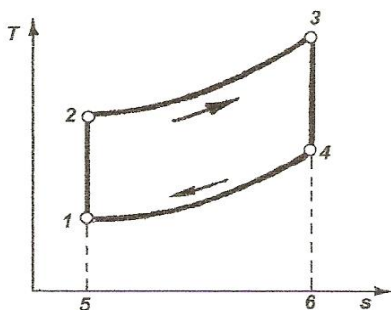
4.17-сурет

Циклдың негізгі сипаттаушы параметрлері болып сығымдағыштағы қысымның өсу дәрежесі $\beta = p_2/p_1$ және изобарлы ұлғаю дәрежесі $\rho = v_3/v_2$ болады. Егер $q_1 = c_p(T_3 - T_2)$ және $q_2 = c_p(T_4 - T_1)$ болса, онда

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} =$$

$$= 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{(T_4 / T_1) - 1}{(T_3 / T_2) - 1}$$

Температуралар қатынасын қысымның өсу дәрежесі арқылы өрнектейік. Егер 1-2 және 3-4 процестерін адиабатты деп қарастырсақ, онда



4.18-сурет

$$T_1/T_2 = (p_1/p_2)^{(k-1)/k} = 1/\beta^{(k-1)/k}$$

$$T_4/T_1 = (T_4/T_3)(T_3/T_2)(T_2/T_1) =$$

$$= (p_4/p_3)^{(k-1)/k} (T_3/T_2) (p_2/p_1)^{(k-1)/k}$$

мұндағы $p_4 = p_1$ және $p_3 = p_2$ болғандықтан, $T_4/T_1 = T_3/T_2$.

Нәтижесінде ГТҚ идеал циклінің пайдалы әсер коэффициентін былай алуға болады:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{(k-1)/k}}$$

Идеалды циклдың ПӘК-і β өскен сайын артады, ал соңғысы қысым соңындағы T_2 температурасының өсуі және соған сәйкес турбина алдындағы газдың T_3 температурасының өсуіне байланысты.

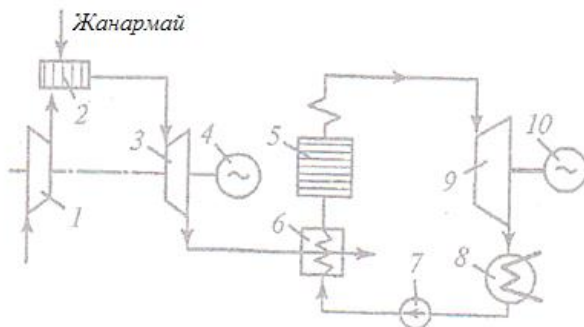
Бірақ, турбина алдындағы температураның максималды мәні металдың ыстыққа төзімділігімен шектеледі (1100–1200 °С – авиация қозғағыштарында, 750–800 °С – тұрақғы қондырғыларда). Сондықтан отынның жану температурасын қосымша ауа беру арқылы әдейілеп төмендетуге тура келеді де, қондырғының ПӘК-ін шектеуге әкеліп соғады. Газ турбинасынан жұмыс істеп шыққан газды жану камерасына келіп түсетін ауаны қыздыруға арналған жылуалмасқышқа немесе ыстық су, бу алып, коммуналды шаруашылық қажетіне жұмсауға болады.

4.7. Бугазды құрылғылар

Газтурбиналы құрылғылардағы жылу бергендегі температураның жоғары болуы және бутурбиналы құрылғылардағы жылуды бөліп алудағы температураның төмен болуы, газ бен буды жұмыстық дене ретінде қиыстыра пайдалануға мүмкіндік туғызды.

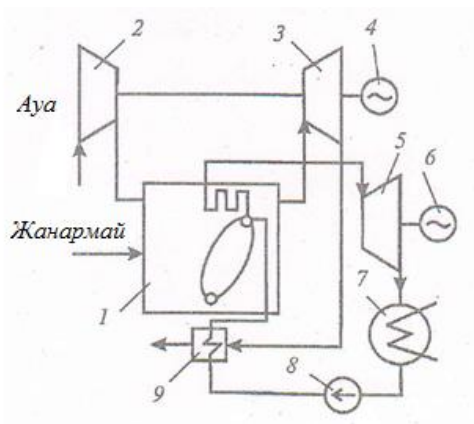
Бугазды құрылғының қарапайым схемасы 4.19-суретте келтірілген.

Отын және 1 компрессормен сығылған газ 2 жану камерасына беріледі. Жану өнімі 3 газ турбинасында пайдаланылғаннан кейін 6 жылытқышқа беріледі. Онда ол қазанға берілетін қорек суын ысытып, әрі атмосфераға шығып кетеді. 5 қазан агрегатынан алынған ыстық бу көлемі 9 бу турбинасында ұлғайып 8 конденсаторда конденсирленеді. Конденсат 7 насоспен сорылып, 6 жылытқышқа беріледі, онда ол жылып әрі қазанға құйылады. Газ бен бу турбиналары өндірген пайдалы қуаттар 4 және 10 электр генераторларына беріледі.



4.19-сурет. Бугазды құрылғының схемасы

Бу газды құрылғының басқа бір түрі де бар. 4.20-суретте жоғары қысымды бу генераторы бар БГҚ принципіалды схемасы келтірілген.



4.20-сурет. Жоғарықысымды бу генераторы бугаздық құрылғының принципіалды схемасы

Бу генераторының оттығына 2 компрессормен жоғары қысымды ауа беріледі. Сұйық немесе газ тәріздес отынның жануынан алынған 1 бу генераторындағы ыстық бу 5 бу турбинасына беріліп, онда көлемі ұлғайғаннан кейін 7

Параллель схемалы БГҚ пайдалану бугазтехнологиясына тозаң көмір энергоблоктарын таратуға мүмкіндік туғызады. Бұл кезде отынның жалпы балансындағы көмірдің үлесі 70–75 % құрайды. Қалған бөлігі ГТҚ жану камерасындағы табиғи газды жағуға жұмсалады.

Соңғы жылдары жоғарыда келтірілген құрылғылардан өзге БГҚ жаңа схемаларымен технологиялары жасалынған және жылутехникасының бұл саласы жылдам дамуда.

4.8. МГД – генераторлы электрстанциялары

Қуатты жоғарыэкономикалы электрстанцияларын құрудағы ең перспективті бағыттың бірі магнитгидродинамикалық генераторларда электр энергиясын жылудан алу.

Бұл жағдайда бу қазандығының, турбинаның және айналатын генератордың қажеттілігі болмайды. МГД – генератордың ПӘК 60 % дейін жетуі мүмкін.

Мұндай құрылғылардың жұмыс істеу принципі келесідей.

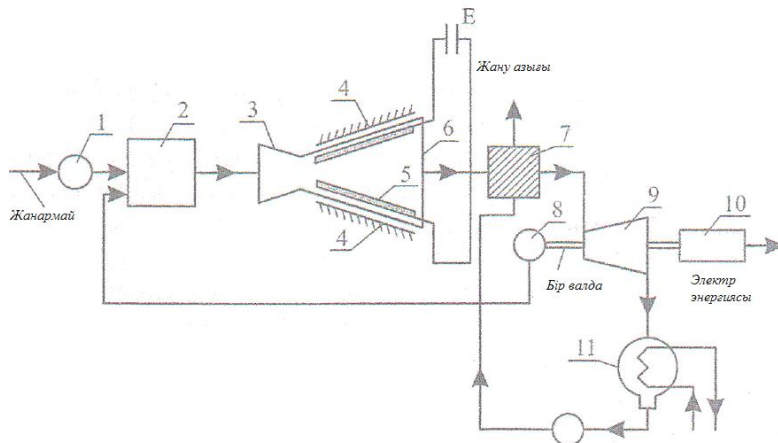
Отынның жану өнімі – газ жоғары температурада жылу өткізгіш, ал температура 3000–4000 °С болғанда электр өткізгіш болады. Мұндай температура кезіндегі газдың күйін *плазма* деп атайды.

Өткізгіш магнит өрісін кесіп өткенде онда өткізгіштің жылдамдығына, ұзындығына және магнит өрісінің кернеулілігіне пропорционал болатын электрқозғағыш күш (ЭҚК) түзілетіндігі белгілі. МГД-генератордың конструкциясы осы заңдылыққа негізделген және онда өткізгіштіктің орнына плазма пайдаланылған.

4.22-суретте МГД-генератордың принципіалды схемасы келтірілген. Отын берілетін 2 жану камерасынан қызған газ тасқыны 3 соплоға одан кейін 6 генератордың каналына беріледі.

Каналдың екі жағына да қуатты 4 магниттер орналастырылған. Плазма 600–650 м/с жылдамдықпен магнит өрісінде қозғалғанда оның бойында ЭҚК түзіледі. Желіге берілетін ток 5 электродтар арқылы алынады. МГД- генераторда 2500–3000 °С-ден 2000 °С-ге дейін дегдіген ыстық газдың

жылулық энергиясын пайдалану үшін газ 7 қазандыққа беріледі. Қазандық буы 11 конденсаторы мен 8 насосы бар 9 бу турбинасына беріледі. Турбинаның білігіне 10 генератор орнатылған. Бу турбинасы мен МГД –генератордың мұндай үйлесуі станция ПЭК 60 % көтеруге мүмкіндік туғызады.



4.22-сурет. МГД – генераторының принципіалды схемасы:

- 1 – насос; 2 – жану камерасы; 3 – сопло; 4 – магниттер;
5 – электродтар; 6 – генератор; 7 – қазандық; 8 – насос;
9 – бутурбинасы; 10 – генератор; 11 – конденсатор

Қатты өткізгішті сұйықпен алмастыру мүмкін деген идеяны алғашқы болып ағылшын физигі М. Фарадей ұсынды. 1831 ж. ол осы идеяны экспериментпен дәлелдемек болып, Темза өзенінің екі жақ жағалауындағы қарама-қарсы суға екі металл пластиналарын орнатты. Егер өзен суының ағу жылдамдығы 0,2 м /с болса, жер магнит өрісінде батыстан шығысқа ағатын суды өткізгішке ұқсастырып, электродтардан шамамен 10 мкВ/м кернеу алуға балады деп есептеді.

Өкінішке орай тәжірибе сәтсіз аяқталды, «генратор-өзен» жұмыс істемеді. Бірақ біраз жылдан кейін лорд Кельвин Фарадей тәжірибесін қайталап кішігірім ток алды. Тәжірибе Фарабейдікіндей болды: сол өзен , сол пластиналар, сол

аспаптар. Тек, Кельвин тәжірибені Темза өзенінің суы мен бұғаздың тұзды суы араласып кететін төменгі тұсында жүргізді. Міне мәселенің шешімі де осында болды: өзеннің төменгі тұсындағы су тұзды, ал тұзды судың электрөткізгіштігі де жоғары. «Жұмыстық дененің» өткізгіштігін жоғарылату – МГД-генератордың қуатын өсіретін негізгі жолы. Мұны 1851 ж. ағылшын ғалымы Волластон, Ла-Манштағы көтерілген су ағысында индуцирленген ЭҚК өлшеу арқылы дәлелдеді. Бірақ, сұйық пен газдың электрфизикалық қасиеттері туралы қажетті білімнің жоқ болуына сәйкес, бұл алынған құбылысты іс жүзінде пайдалану көпке дейін мүмкін болмады.

МГД-генератордың қуатын көбейтудің басқа бір жолы – магнит өрісінің кернеулілігін жоғарылату, себебі МГД-генератордың қуаты магнит өрісі кернеулілігінің квадратына пропорционал.

Өнеркәсіптік МГД – генератор, өткен ғасыр ортасында пайда болған аса өткізгіш минералдарды (ниобий-титан, ниобий-цирконий) қолдану барысында іске асырылды. Бұл материалдар аса өткізгіш магниттік жүйелерді құруға мүмкіндік туғызды. МГД-генераторлармен көптеген елдер жұмыс істей бастады, себебі мұндай машиналарда ЖЭС турбиналарындағы бұдан 8–10 есе ыстық болатын плазманы қолдануға болады. Бұл кезде Карно принципіне сәйкес ПӘК 40 % емес 60 % болады.

Бірақ мұндай энергоқұрылғыны жасау және экономды пайдалану оңай болмады. Қуатты магнит өрісін жасайтын жабдықтар едәуір қымбат; тікелей жақын жерде, плазма тасқыны (2500 К) және сұйық гелий (4–5 К) бар криостат орналасуы қажет; қатты қызған электродтар күйіп шлактанады; плазманы ионизациялау үшін отынға жаңа қосылған присадкаларды шлактан сілтісіздендіру қажет. Оған қоса, шамамен осы кезде ПӘК 60 %-ға жақын бугазды құрылғылар шығарыла бастады. Ал бұлар әлдеқайда қарапайым және арзан. Міне сол себептерден қаншама отынды тұтыну жағынан өте пайдалы болғанымен МГД-генераторлар жаппай қолданыс таппады. МГД-генераторлар принципі энергетикада ғана емес басқа салаларда да қолданыс тапқан (Мысалы: дайындалып жатқан жерсілкінісі ошағына әсер етуші экологиялық таза және

реттелетін инструмент рөлінде импульстік МГД-генераторлар қолданылады; «АЯКС» – гипердыбысты ұшқыш аппаратта және т.б.).

Қызған плазма көзі болатын термоядролық реактор мен МГД-генераторды бірге қолдану бағытының зор болашағы бар. Тек бұл бағыт термоядролық реакторды өнеркәсіптік пайдалаған сәтте ғана іске асырылуы мүмкін.

4.9. Атом электр станциясы (АЭС)

АЭС ядролық отынды пайдаланады. Дүниежүзіндегі бірінші АЭС 1954 ж. 27 маусымда КСРО-да Обнинск қаласында іске қосылды. Бүгінгі кезде дүниежүзінде 440 атом электрстанциялары жұмыс істейді. АЭС арқылы электроэнергиясын өндіруде шешуші маңызды үлес Францияға тиесілі (73 %). Электрэнергияны абсолют өндіруде АҚШ көш басында тұр. АҚШ-та АЭС белгіленген қуаты 90 млн кВт, ал Ресейде – 22 млн кВт құрайды.

Жылу энергиясын өндіру көзі ретінде уран-235 ядролық отынның бөліну тізбекті реакциясы пайдаланылады. Ядролық отынды табиғи уранды байыту жолымен алады. Уран-235 бөлінуші изотопының рудадағы мөлшері тек 0,71 % ғана. Байытылған уран (диоксид урана) жылушығарушы элементті жасайтын зауытқа жіберіледі. Уран диоксидінен диаметрі 9 миллиметрдей, биіктігі 15–20 мм цилиндр түрлес таблеткалар жасалынады. Бұл таблеткаларды ұзындығы 4 м цирконды трубкаға (түтікке) орналастырады. Міне осы – жылушығарушы элемент (ТВЭЛ). Оларды жүздеген данамен реактордың активті зонасына салу және одан шығару ыңғайлы болатындай етіп жасайды.

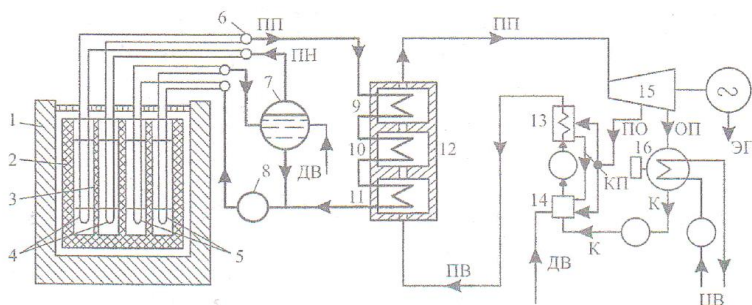
Жылу энергиясының қуатты тасқынын шығару процесі баяу нейтрондармен жұмыс істейтін атом реакторында өтеді.

Екі топ стерженьдер бір-біріне жақындағанда тізбекті реакцияның басталуына жеткілікті аумалы күйдегі масса түзіледі. Реактордағы тізбекті реакцияны басқару үшін нейтрондардың күшті жұтушысы болатын материалдардан істелінген компенсирлеуші стерженьдер қолданылады, Мысалы

бор карбиді. Реактордың активті зонасында түзілген жылуды алу үшін – жылушығарғыштар пайдаланылады. Атом реакторында жылушығарушы ретінде химиялық тазартылған су қолданылады.

АЭС буэнергетикалық құрылғысының принципиялды схемасы 4.23-суретте келтірілген.

Схемадағы 1 атом реакторы, жұмыстық каналдар болатын көп санды цилиндрлік тесіктері бар 2 графит блоктарынан тұрады. Әр каналдарға жылу энергиясының көзі болатын 3 уран тығыны салынады. Каналдарда U-тәріздес болаттан істелген 4 бу немесе 5 су трубкалар орналастырылған, олар арқылы тұйықталған контурмен суытқыш су немесе бу айналып ағып тұрады. Болат трубканың бір жағы бойынша су мен бу төмен жылжыса, екінші жағымен жоғары қарай оралады.



4.23-сурет. Атом электр станциясының принципиялды схемасы:

- 1 – атом реакторы; 2 – графитті блок; 3 – урандық тығын;
- 4 – будың болат трубкалары; 5 – судың болат трубкалары;
- 6 – болат трубкалар коллекторы; 7 – сепаратор; 8 – насос;
- 9 – буқызыдырғыш; 10 – қаныққан будың бугенераторы;
- 11 – конденсат қыздырғыш; 12 – бугенераторы (жылуалмастырғыш);
- 13 – суқызыдырғыш; 14 – деаэратор;
- 15 – бу турбины; 16 – конденсатор; ЭГ – электр генератор

Барлық U-тәріздес трубкалардың шеті 6 коллекторға жалғанған. Суретте көрсетілгендей, су 8 насос көмегімен үлкен қысыммен су трубкаларына (суретте екі-ақ канал көрсетілген) беріледі де ысығаннан кейін коллекторлар 7 сепараторға ағып

келеді. Сепаратордың жоғарғы бөлігінде қаныққан бу жиналады. Сепаратордан қаныққан бу (ПН) бу трубкаларына (суретте тек екеуі келтірілген) беріледі де дегдітіледі және қыздырыңқырайды. Әрі қарай бу трубкаларының коллекторынан ысыған бу (ПП) үлкен қысыммен 12 бу генераторына беріледі. Бу генераторы жылуалмастырғыштың үш камерасынан тұрады: 9 буқыздырғыш, 10 қаныққан бу бугенераторы және 11 конденсат қыздырғыш. Әрі қарай конденсат сумен бірге сепаратордан насос көмегімен U-тәріздес болат трубкаларға беріледі. Осылайша бірінші контурдың айналмалы-тұйықталған процесі іске асырылады. Бұл процестің өту жолы 4.23-суретте қалың сызықпен белгіленген.

Екінші тұйықталған контурдағы қызған бу (ПП) (жіңішке сызықпен белгіленген), 12 бугенераторы жылуалмастырғышынан 15 бу турбинасына беріледі. Бұл буда радиоактивтілік жоқ, сондықтан екінші контурдың барлық құрылғылары арнайы қорғауды қажет етпейді, ал 1 реактор, 12 бугенераторы және олар арқылы ағып өтетін су радиоактивті сәулелену тасымалдауыштары болып есептеледі. Қызметкерлердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін, реактор мен бугенераторын сенімді түрде оқшаулайды, ал басқаруды автоматтандырады. Радиоактивті қалдықтар арнайы оқшауланған қоймаларда жинақталады. Атом станциясының ауасын, апаттық жағдайда мүмкін болатын радиоактивті заттардан тазартып, биік мұржа арқылы сыртқы шығарады. Станциядағы, санитарлық зонадағы және аймақтағы қыстақтардағы ауа, атмосфералық жауын-шашын және маңайдағы жер дозиметриялық қызметтердің қатаң бақылауында болады.

Атом электрстанциясы көп-көрім маневрлі, оны іске қосу жылдам, қуатын әртүрлі мөлшерде өзгерту мүмкіндігі бар және ядролық отынды тасымалдау көп қаражатты қажет етпейді. Ауаны ластамайды. Өндірілетін энергияның құны конденсациялы жылу станциялардікіне қарағанда төмен және перспективте одан әрі де төмендейді. Бұл атом электрстанцияларын пайдалану тартымдылығын жоғарылата түседі. АЭС негізгі кемшіліктері: реакторда болар апаттық жағдайдың ауыр зардабы, қалдықтарды қайта пайдалану

мүмкіндігінің болмауы және АЭС ресурстары таусылғаннан кейін оны жою қиындықтары.

Атом энергетикасында елеулі орын жылдам нейтронды реакторға тиесілі. Бұл реакторда ауыр элементтер ядросының бөлінуі өте тиімді пайдаланылады және жасанды Pu^{239} ядролық отынды бір кезде алу мүмкіндігі туындайды. Жылдам нейтрондар U^{238} ядросына тигенде бірнеше өзгеру реакциялары өтіп, нәтижесінде Pu^{239} плутоний пайда болады, ал бұл жаңа ядролық отын.

Жылдам нейтронды реакторды жаппай пайдалану, әлемнің әр елдерінде ядролық қарудың негізін құрайтын плутонийдың жиналып қалу мүмкіндігі бар деген алаңдатушылықты туғызады. Бұл плутонийдің біраз бөлігінің экстремистік ұйымдар қолына түсу қаупі жоғары. Сондықтан қазіргі кезде өнімдері криминалық мақсатта қолданыла алмайтын реактордың конструкциясын жасау жолында зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Мысалы, Нобель сыйлығының лауреаты италяндық К. Руббиа ядролық реакцияны өздігінен ұстап тұра алмайтын урандық емес, торий отынымен жұмыс істейтін реактор жасауды ұсынды. Реакторды істен шығарғанда ядролық реакция тоқтайды. Мұндай реакторда атом бомбасы үшін материал – плутоний пайда болмайды. Жерде торийдың қоры мыңдаған жылдарға жеткілікті. Бірақ торийды ядролық отын ретінде пайдалану технологиясы, урандікіне қарағанда әлдеқайда күрделі және қымбат.

Мамандардың пайымдауы бойынша дүниежүзінде электрэнергиясын өндіру құрылымындағы атом энергетикасының үлесі жылдан-жылға үнемі өсуде. Қазақстанда АЭС салу проблемасы әлі өз шешімін тапқан жоқ, бірақ бұл мәселе үкіметтің күн тәртібінде тұр.

4.10. АЭС циклдері және олардың тиімділігі

Жоғарыда айтылғандай, АЭС негізгі жылу көзі – реактор (бу қазандығы немесе жағу камерасындай), ал жылу механикалық жұмысқа бу немесе газтурбиналы қондырғыларда түрленеді. Сондықтан ядролық жылу қозғалтқыштарының

теориялық циклдері, жоғарыда қарастырылған бу және газтурбиналы қозғалтқыштардікіндей және оған да сондай бағалау критерийлері қолданылады. Дегенмен біраз ерекшеліктер де бар:

- реактордың жылулық қуатын кең көлемде өзгерту мүмкіншілігі;

- жылушығарғыш элементтер (ТВЭЛ) сырт қабығының (ТВЭЛ қабықшаларының термоберіктігі: Al мен Mg қоспасы – 450 °С дейін, тотықпайтын болат – 600 °С дейін, басқа материалдар – 1000 °С дейін) және ядролық отынның термоберіктігімен оның максимал шамасының шектелуі;

- өндірілетін энергия балансындағы отындық құрам үлесінің аздығы (10–15 %, ал ЖЭС – 50–60 %);

- соңғы жағдай АЭС циклінің жоғары термиялық ПӘК ғана емес сонымен қоса электрстанцияны салудағы ақша қаражатын жұмсауды азайтуға мүмкіндік беретін максимал бірлік қуат болуын да талап етеді.

Егер реактор қуатын Q_T деп белгілесек, онда АЭС максимал теориялық қуаты, кВт,

$$N_T^{max} = Q_T \cdot \eta_t.$$

Мынаны алуға болады

$$Q_T = K_{\text{ж}} \cdot K_{\text{БКЕ}} \cdot F(T_{\text{ош}} - T_{\text{1ор}}), \quad (4.1)$$

мұндағы $K_{\text{ж}}$ – жылутасымалдағышқа ядролық отыннан жылу беру коэффициенті; $K_{\text{БКЕ}}$ – реактор радиусы бойымен жылубөлінудің біркелкі еместігі коэффициенті; F – реактор жылубөлігіш элементтерінің беттерін қоршау ауданы; $T_{\text{ош}}$ – ТВЭЛ ең қызу беттеріндегі шектік температура; $T_{\text{1ор}}$ – циклға жылу әкелудің орташа температурасы.

Циклдің термиялық коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$\eta_t = 1 - T_{2op}/T_{1op},$$

мұндағы T_{2op} – циклдегі жылуды әкетудің орташа температурасы.

Сонымен,

$$N_T^{max} = K_{ж} \cdot K_{БКЕ} \cdot F(T_{ош} - T_{1op})(1 - T_{2op}/T_{1op}). \quad (4.2)$$

Алынған өрнектен циклдегі әкелінген температура T_{1op} жоғарылағанда Q_T реактор қуатының азаятынын, ал η_t циклдің термиялық ПӘК өсетінін көреміз.

$$dN_T^{max}/dT_{1op}=0$$

деп алып циклдегі әкелінетін жылудың оптимал орташа температурасын табуға болады. Нәтижесінде

$$T_{1op}^{opt} = 1 - \sqrt{T_{ош} * T_{2op}}$$

және оған сәйкес термиялық ПӘК оптимал мәні

$$\eta_t^{opt} = 1 - \sqrt{T_{ош} * T_{2op}}$$

Алынған нәтижелерден $T_{ош}$ жылу бөлуші элементтердің шекті мәнінің орны бөлек және айқын екенін көреміз. Неғұрлым $T_{ош}$ үлкен болса, соғұрлым η_t^{opt} оптимал ПӘК де үлкен болады және циклдегі T_{1op}^{opt} жылу әкелу оптимал орташа температура да үлкен болады. Бұл кезде $T_{ош}$ өсуіне, (6.1) формулаға сәйкес, Q_T жылу бөлінуі де өседі. Сонымен, атом құрылғысының электр қуаты да өседі.

Айтылғандарға сәйкес $T_{\text{ош}}$ шектік температураның мүмкін мәніне қарай төментемпературалы және жоғарытемпературалы реактор деп ажыратылады.

Соңғысы АЭС циклінде қысыммен бу температурасын көтеруге мүмкіндік береді. Олар станцияның қарапайым схемасында ең үлкен тиімділікті қамтамасыз етеді және жылутасымалдағыш ретінде суды пайдалануға есептелінген.

Атом құрылғысының электрлік қуаты мына өрнек бойынша анықталады:

$$N_3 = Q_t * \eta_t * \eta_{ei} * \eta_m * \eta_g * \eta_{\text{өк}}$$

мұндағы

η_t – турбинаның салыстырмалы ішкі ПӘК;

η_{ei} – механикалық ПӘК;

η_m – механикалық ПӘК;

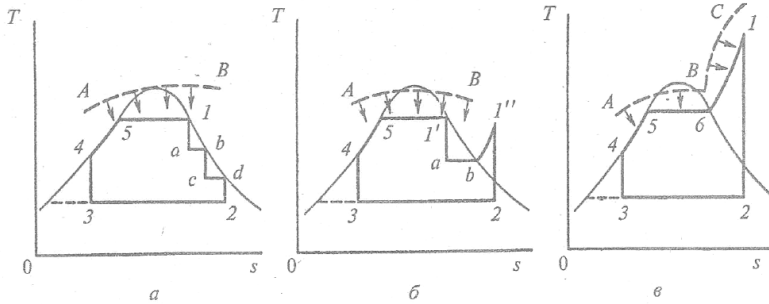
η_g – электр генераторының ПӘК;

$\eta_{\text{өк}}$ – құрылғының өзіндік қажеттілік жабдықтарының ПӘК.

Қазіргі кезде бу турбины ядролық құрылғылар кеңінен, ал газтурбинылар – сирек пайдаланылады. Олардың тиімділігін жоғарылату үшін жылуды регенерациялау, буды аралық қыздыру, бугазды және бинарлы циклдар және т.б. әдістер қолданылады.

Ядролық құрылғылар негізінен электр энергиясын өндіру үшін электрстанцияларында пайдаланылады, дегенмен де олар ірі кемелерде, су асты қайықтарында да орнатылады.

Бүгінгі күнгі АЭС бу турбинылар циклдері бір және екі контурлы схемалар бойынша іске асырылады. Бір контурлы бутурбины АЭС циклдері 4.24-суреттегі Т, S – диаграммасында көрсетілген.



4.24-сурет. Бірконтурлы бутурбиналық АЭС циклдері:
а – екісатылы аралық сепарациялы қаныққан будыкі; б – бірсатылы сепарациялы және аралық қыздырылған буы бар қаныққан будікі; в – алдын-ала қыздырылған будікі

Турбинадағы бу ұлғайған кезде қаныққан бу аймағында құрылғының тиімділігі төмендейді және турбина қалақшаларында эрозия пайда болады. Осыған сәйкес ұлғаю соңындағы будың ылғалдығы 12–14 % аспауы қажет. Бұл шарт орындалу үшін аралық кептіру, яғни бу сепарациясы мен оны аралық және бастапқы қыздыру қолданылады. Ұлғаю соңындағы қысым $p_a = 0,0034-0,0039$ МПа болғанда сепарация бастапқы қысым $p_1 = 0,3-0,4$ МПа кезінде қажет, егерде $p_1 > 4,5$ МПа болса екісатылы, ал $p_1 > 8,0$ МПа болса – үшсатылы сепарация қажет. Сепарация реалды цикл ПӘК 1–3 % өсіреді, бірақ кондырғы құрылымын қиындатады, сондықтан екісатыдан көп жасамайды (4.24, а-сурет)

4.24, а-суретінде А-В пунктирмен жылушығарғыш элементтер бетінің температурасының өзгеруі шартты түрде көрсетілген. Мұндағы 4-5-1 процесі қанығу температурасына дейінгі судың қызуы (5-нүкте) және құрғақ бу алуға дейінгі одан будың пайда болуы (1-нүкте); процестер 1-а, в-с және d-2 – турбинадағы будың ұлғаюы, ал а-в мен с-d – сепараторлардағы дегдіту. Қоректенетін суды регенаративті қыздырудың акырғы температурасына 3 нүктесі сәйкес келеді.

Бұл циклдің ПӘК былай анықталады:

$$\eta = \Delta i_T / (i_1 - i_4),$$

мұндағы $\Delta i_T = (i_1 - i_2)k$ -регенерация мен сепарацияны есепке алғандағы турбинада пайдаланылған қосынды құлама; коэффициент $k < 1$.

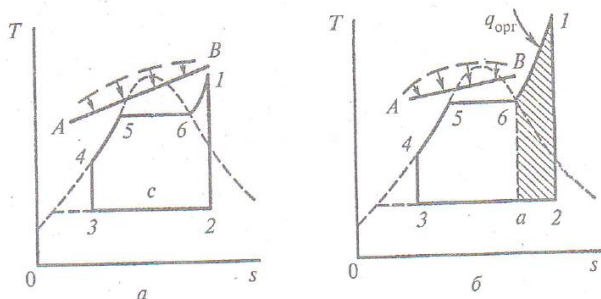
Егер екі сатылы сепарация қажет болмаса, екінші саты орнына қатты ысытылған немесе сұрыптап алынған бу арқылы будың аралық қыздыруын қолданады (4.24, б-сурет). Қатты ысытылған будың дәрежесі бу қыздырғыштың температуралық ағынына тәуелді болады, яғни

$$\Delta t_{\text{бы}} = t_{1'} - t_{1''} \approx 15 - 30^\circ\text{C}.$$

Ал бұл температуралық арын будың бастапқы және аралық қысымын, турбинаның қуатын және будың ақырғы ылғалдылығын еске ала отыра таңдалынады. Егер қатты ыстық бу турбинаның стопорлық клапанының алдынан алынса, онда төмен қысымды сатылардың ПӘК көбейтуге мүмкіндік туғызатын, будың бастапқы қысымын көбейтіп, ақырғы ылғалдылығын азайтуға болады. Оған қоса бу-булы қыздыру сулық режим мен схеманы күрделендіреді. Сондықтан дегдіту мен буды ысыту (a-b-1'') қысымын дұрыс таңдауға үлкен мән беру қажет.

АЭС жобалау мен пайдалану тәжірибесі, турбина кірісіндегі будың жоғары көрсеткішті параметрлерін ($p_1 \geq 10 \text{ МПа}, t_1 = 500 - 550^\circ\text{C}$) қайнау реакторының (су және тежегіш ретінде графит қолданылатын) бір контурлы схемасында іске асырылатынын көрсетті. Реактордың жылу тасымалдағышы және турбинаның жұмыстық денесі рөлін бір мезгілде атқаратын су буы, твэлдерде ысытылып, содан кейін тікелей турбинаға бағытталады. Будың бастапқы қыздырылуы (4.24, в-суреттегі 6–1 процесс) ядролық реактордың каналдарында немесе активті зонаның бөлініп алынған бөлігінде ұлғаюдың соңындағы (2 нүктесі) мүмкін болатын ылғалдылықты қамтамасыз ететін температураға (1 нүктесі) дейін жүргізіледі. Бұл шартты будың түйіндес деп аталатын бастапқы параметрлері қанағаттандырады. Будың соңғы $p_2 = 0,039 \text{ МПа}$, қысымына сәйкес келетін түйіндес бастапқы параметрлер: $7 \text{ МПа} - 450^\circ\text{C}$; $8,8 \text{ МПа} - 480^\circ\text{C}$; $12,3 \text{ МПа} - 515^\circ\text{C}$.

Егер t_1 төмен ал p_1 бұл мәндерден жоғары болса, буды аралық сепарациялау немесе қыздыру қажет. 4.24, в-суреттегі суретте А-В-С пунктирмен твэлдердің температурасының өзгеруі көрсетілген. Қысым астындағы сумен суытылатын (ВВЭР) екі контурлы реакторлы АЭС негізгі теориялық циклі 4.25-суретте көрсетілген.



4.25-сурет. Екіконтурлы бутурбиналық АЭС циклері:
а – бу алдын ала қыздырылған; б – бөтен көз арқылы алдын ала қыздырылған будікі

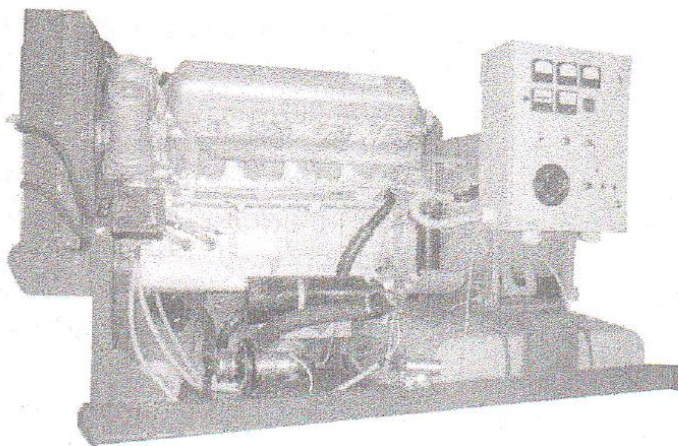
Бұл циклдердің ортақ ерекшелігі цикл параметрлеріне аралық жылу тасымалдағыш параметрлерінің әсерін шектеу. Бастапқы қыздыру циклінде (4.25, а-суретте) суды ысыту (4–5 процесі), бу шығару (5–6 процесі) және буды қатты қыздыру (6–1 процесі) жылу тасымалдағыштан (АВ сызығы) жылу жеткізу есебінде іске асырылады. Буды қатты қыздыру температурасы (1-нүктесі) су – жылу тасымалдаушының максимал температурасына (В нүктесі) және арын температурасына ($t_A - t_1$) тәуелді. Екінші контурдағы будың қысымы жылу тасымалдаушының қысымына, ұлғаю соңындағы турбинадағы будың t_1 температурасына, қысымына және ылғалдылығына тәуелді.

Сонымен қоса, органикалық отынды жағу арқылы алынатын жылу есебінен от қызуымен қыздырылатын буды пайдаланатын екі контурлы АЭС бар. Бұл жағдайда іс жүзінде, бу турбинасы үшін мүмкін болатын кез келген бу қыздыру температурасы (1 нүкте) және де будың аралық қыздыруының аса ауыспалы күйдегі температурасын бірге алғандағы кез

келген параметрлердің болуы мүмкін (4.25, б-сурет). Оттық бу қыздырғышқа жұмсалатын қуаттың үлесі, кең ауқымда таңдалынып алынуы мүмкін (0,23-0,84). Соңғы жылдары көптеген елдерде бұл циклмен жұмыс істейтін АЭС- тен бас тартуда. Себеп – оларды пайдаланудың күрделілігі.

4.11. Дизельді электр станциялар (ДЭС)

Дизельді электр станциялар көшпелі және стационар түрінде шығарылып резервті энергия көзі ретінде пайдаланылады.



4.26-сурет. Қуаты 100 кВт дизель-генераторлы агрегаттың сыртқы түрі

ДЭС негізгі элементі – ортақ пісірілген рамада жинастырылған дизель-генератор. Бірінші қозғалтқыш пен генератор муфта арқылы қатты жалғанған. ДЭС жабдықтарына суыту жүйесі, қоректендіру жүйесі, басқару қалқаны, аккумуляторлық батарея және басқа да жабдықтар кіреді.

Автоматтандырудың үш дәрежесі көзделінген. Шығарылатын электр станциялардың қуаты 12-ден 500 кВт аралығында.

Қуаты 100 кВт дизель-генераторлы агрегаттың сыртқы түрі 4.26-суретінде көрсетілген.

Бақылау сұрақтары:

1. Электр және жылу энергияларын өндіретін электр станциялардың түрлерін атап шығыңыз.
2. Бу турбиналы электр станциясының жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
3. Бу турбиналы қондырғының циклдерін санап шығыңыз.
4. ЖЭС принципіал схемасын және негізгі жұмыс істеу принципін бейнелеп түсіндіріңіз.
5. Жылу бу станциясының п.э.к. көтерудің негізгі әдістерін атап шығыңыз.
6. ЖЭО негізгі теплофикациялау термодинамикалық принципін атап шығыңыз.
7. Газтурбиналы қондырғылардың жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
8. Бугазды құрылғылардың жұмыс істеу принципі қандай?
9. МГД – генераторлы электрстанциясының жұмыс принципі неге негізделген?
10. АЭС принципіалды жылулық схемасын баяндаңыз.
12. ЖЭС градирня не үшін пайдаланады?

5. ҚАЗАНДЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАР

5.1. Жалпы түсініктер

Қазандық деп отынды жаққан кездегі алынған жылу арқылы үлкен қысымда бу немесе ыстық су алатын құрылғыны айтамыз. Соған сәйкес олар *бу* немесе *суқыздырғыш қазандықтарға* бөлінеді. Пештерден немесе басқадай технологиялық процестердің қосалқы өнімдерінен шығатын жылуды пайдаланатын қазандарды *қазандық-утализатор* деп атайды.

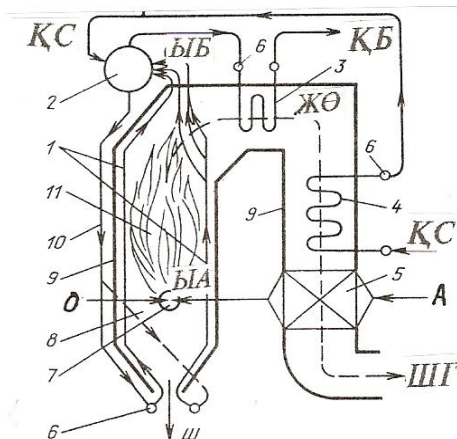
Қазандықтың тұрақты және қауіпсіз жұмыс істеуі үшін оны көмекші жабдықтармен толықтырады. Оларға отынды дайындау және ошаққа беру, ауаны беру, сумен қамтамасыз ету, жану өнімдерін алып кету, күлден тазарту құрылғылары жатады. Осы аталған көмекші жабдықтармен қоса қазанды *қазандық қондырғы* деп атайды.

Жылу электр стансаларының турбиналарын бумен қамтамасыз ететін қазандық қондырғыларын энергетикалық қазандықтар деп атайды. Ал өндірістік тұтынушыларды бумен қамтамасыз ететін, сонымен бірге ғимараттарды жылыту үшін арнайы өндірістік және жылыту қазандық қондырғылары пайдаланылады.

Жылулық көзі ретінде қазандық қондырғылары үшін табиғи және жасанды отындар, өндірістік пештер және басқа қондырғылардың шығарылым газдары, күн энергиясы, ядролық энергиялар және басқа энергия түрлері қолданылады.

5.2. Бу қазандығы және оның негізгі элементтері

Энергетикалық қондырғылардағы буды аса қыздыру қажеттілігі арнайы қыздыру беттерін – *буқыздырғышты* орналастыруды талап етті. Сонымен, XX ғасырдың орта шенінде экранды ошағы бар барабанды тік-суқұбырлы табиғи айналымды қазан құрылымының принципіалды схемасы қалыптасты (5.1-сурет).



5.1-сурет. Қазіргі бу қазандығының схемасы. ҚС – қорек суы; ББ – ылғалды бу; ҚБ – қыздырылған бу; О – отын; А – ауа; БІА – ыстық ауа; ЖӨ – жану өнімдері; ШГ – шығу газдары

Барабанды бу қазандығы ошақ камерасынан, газжүргіштен, барабан, қыздыру беттері, ауақыздырғыш және жалғағыш құбырлар мен ауатасымалдағыштан тұрады.

Жанатын отын 7 жанарғыларға беріледі. Оларға алдын ала қазандықтан шығатын газдармен ауақыздырғышта қыздырылған ауа беріледі. 8 Ошақ камерасында жанарғылар арқылы берілген отын мен ауаның қоспасы жанып, жоғары температуралы (шамамен 1500 °С) жалын пайда болады. Ол өзінің жылуын ошақ қабырғаларының ішіне орналасқан 1 құбырларға береді. Бұл құбырларды булану қыздыру беттері немесе экран деп атайды. Экрандарға өзінің қызуының бір бөлігін беріп ошақ газдары 1000 °С температурада артқы экранның жоғарғы бөлігінен өтіп, 3 буқыздырғышты аралап өтеді. Сонан соң жану өнімдері су экономайзері және ауақыздырғыш арқылы өтіп, қазандықтан 110–150 °С температура шамасында шығып кетеді.

Бу қазандығына келіп түсетін суды **қорек суы** деп атайды. Ол алдымен 4 су экономайзеріне келіп түсіп, шығу газдары арқылы қыздырылып, жанған отынның жылуын үнемдейді. Судың булануы 1 экран құбырларында өтеді. Булану беттері 2 барабанға жалғанып және 10 төмен түсіргіш құбырлар арқылы

айналма контурын түзеді. Барабанда бу мен судың бір-бірінен ажырасу процесі болады, сонымен бірге ондағы судың артық бөлігі қазанның сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Барабаннан шыққан құрғақ қаныққан бу 3 буқыздырғышқа келіп түсіп, аса қыздырылған бу тұтынушыға жөнелтіледі.

Қазандық ошағының төменгі бөлігі трапециялы болып келеді де, ол **суық воронка** деп аталады. Онда жалыннан бөлініп шыққан күлдің жабысқан бөлшектері құлап түсіп, суыған соң арнайы қабылдағыш құрылымға беріледі. Газмазутты қазандықтарда суық воронка болмайды.

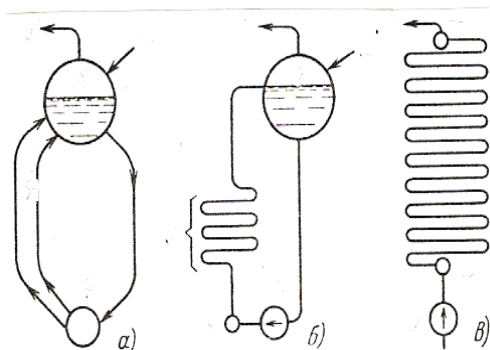
Су қыздыратын экономайзер және ауақыздырғыш орналасқан газжүргіш канал **конвективті бет** деп аталады, онда жылу су мен ауаға негізінсіз конвекциямен беріледі. Осы газжүргішке орналастырылған әртүрлі қыздыру беттері жану өнімдерінің буқыздырғыштан 500–700 °С-та шыққан температурасын 100 °С-қа дейін төмендетуге мүмкіндік береді, демек отынның жылулығын толығымен пайдаланады.

Барлық құбырлар жүйесі мен барабан тіреулер мен көлденең аркалықтардан тұратын қаңқаға сүйенеді. Ошақ пен газжүргіштер жылуоқшаулағыш материалдардан қаланып, сыланған. Оның сырты болаттан жасалған парақтармен қымталып, іштегі газдың сыртқа шықпауын және сыртқы ауаның ішке сорылмауын қамтамасыз етеді. Қазандықтың жұмыс істеу сенімділігін арттыру үшін кей кездерде су және субулы қоспаның айналмалы контурда (барабан – төмен түсіргіш құбырлар – коллектор – көтеруші құбырлар – барабан) жақсы қозғалуын арнайы насостың көмегімен қарқындатады. Бұл қазандарды **көпеселі еріксіз айналмалы қазандықтар** деп атайды.

Олардың ең соңғы түрі ретінде **тікағынды қазандықтарды** айтады. Мұнда су, субулы қоспа және қыздырылған бу еріксіз түрде корек насосының көмегімен қозғалады. Осы агрегаттарда барабанның қажеті болмағандықтан, оны орнатпайды. Тікағынды схема бойынша буланғыш және қыздырғыш беттері жоқ суқыздырғыш қазандар да жұмыс істейді. Су – субулы қоспа – бу ағынының қозғалуының негізгі схемасы 5.2-суретте көрсетілген.

Газжүргіштер мен ошақта арнайы қойылған түтінсорғыштың тартуымен вакуум жасалынады. Ол жану өнімдерінің әртүрлі саңлаулар мен тесіктер арқылы қазандық ғимаратының ішіне таралуын болдырмайды.

Бу қазандықтарының сенімді, қауіпсіз әрі тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін олар дистанционды басқару және автоматтандыру жүйелерімен жабдықталады.



5.2-сурет. Бу қазанындағы су, субулы қоспа мен будың жүру схемасы

Еліміздің өндірістерінде орналасқан бу қазандықтарының құрылымдары алуан түрлі және олардың өлшемдері де әртүрлі. Кейбіреуін жиналған күйінде автомашинамен алып жүруге мүмкін болса, өте ірі жылуэлектр стансаларының қазандарының биіктігі 100 метрге дейін жетеді.

Қазіргі шығарылатын ең ірі бу қазандықтары энергетикалық мақсаттарда қолданылады. Олардың буөнімділігі 4000 т/сағ. дейін жетеді, ал олардан бу тұтынатын турбиналардың қуаты 1200 МВт-қа дейін, будың қысымы – 25 МПа-ға, ал қыздырылған будың температурасы 560 °С-қа дейін жетеді. Бұл дүние жүзіндегі қазандарда кездесетін аса жоғары параметрлер.

Бу қыздырғыштар қазанның булану жүйесінен келіп түсетін будың температурасын көтеруге арналған. Оның құбырларының диаметрлері 22–54 мм аралығында болады және

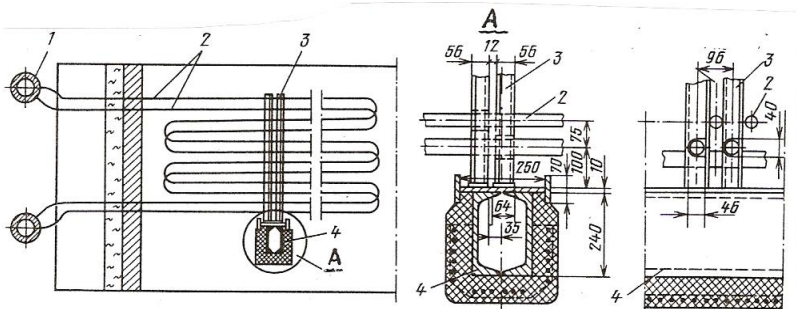
ошақтың қабырғасында немесе төбесінде орналасуы мүмкін. Жылуды сәулелену арқылы (сәулелі буқыздырғыш) немесе конвекция арқылы (конвективті буқыздырғыш) қабылдап алуы мүмкін. Бұл жағдайда буқыздырғыштың құбырлары көлденең газжүргіште немесе конвективті шахтаның аузында орналасуы мүмкін.

Қазандықтың жұмыс тәртібіне және жүктемесіне тәуелсіз қыздырылған будың температурасы бірқалыпты болу керек, себебі, егер ол төмендесе будың ылғалдылығы көбейіп, турбинаның соңғы сатыларының бөлшектерінің беріктілігін төмендетіп, сонан соң деформацияға әкеліп соқтыруы мүмкін,

Будың температурасын тұрақты мөлшерде бусалқындатқыш құрылғының көмегімен реттейді. Олардың ең көп тараған түрі бүркігіш бу-салқындатқыш болып табылады. Онда будың температурасын реттеу, тұзынан айырған суды (конденсатты) бу ағынына бүрку әдісімен іске асырылады. Су буланған кезде будың жылуының бір бөлігін алып, оны суытады.

Төментемпературалы беттер деп конвективті газжүргіште орналасқан және жану өнімдерінің аса жоғары емес температурасында жұмыс істейтін беттерді айтады. Оларға су экономайзері және ауақыздырғыштар жатады. Аталған қондырғыларды орнатудың негізгі мақсаты – қазандықтан шығатын газдардың жылуын максималды пайдалану.

Су экономайзері қазанның қорек суын қыздыру үшін тағайындалған, әдетте, диаметрі 28–38 мм аралығындағы құбырлардан жасалынып, иректеліп, пакет түрінде жинақталған. Пакеттегі құбырлар шахматты тәртіппен тығыз жинақталады: көрші құбырлардың біліктерінің арақашықтығы 2–2,5 құбыр диаметрінің еселігіне тең, ал ағын бойымен жүргенде ол ара қашықтық 1–1,5 диаметр еселігіне тең болады. Ирек құбырларды бекіту сүйеніш тіреулермен іші қуыс арқалықтарға асылып ілінеді (5.3-сурет).



5.3-сурет Су экономайзерінің бөліктері және оны бекіту

1 – коллектор; 2 – ирек құбырлар; 3 – ұстын;

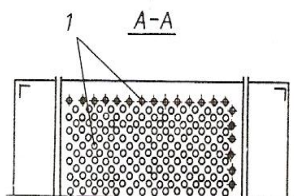
4 – сумен салқындатылатын арқалық

Ауа қыздырғыштар. Қазандықтың қорек суы экономайзердің алдында регенеративті түрде қыздырылатындықтан ($p=10$ МПа болғанда $t_{к.с.} = 230$ °С), оның температурасы жоғары болып, қазандықтың шығу газдарын тым салқындата алмайды. Содықтан газдарды одан әрі салқындату мақсатында экономайзерден соң ауа қыздырғыш қойылады. Мұнда атмосферадан алынған, сонан соң ошақта жануға қажетті ауа қыздырылады. Ылғалданған көмірді жаққан кезде қыздырылған ауа оны кептіруге жұмсалып, онан соң көмір майдалайтын құрылғыдан шыққан тозаңды тасуға пайдаланылады.

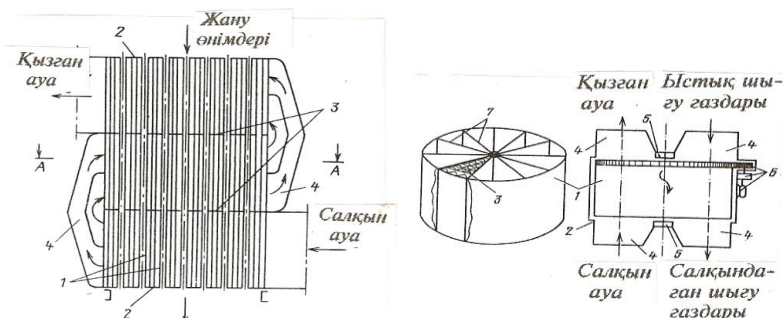
Жұмыс істеу принципі бойынша ауақыздырғыштар рекуперативті және регенеративті болып бөлінеді.

Рекуперативті ауа қыздырғыш - әдетте, болат құбырдан жасалынады (диаметрлері 30-40 мм). Оның схемасы 5.4-суретте көрсетілген. Құбырлар мұнда тік орналасқан, олардың ішімен жану өнімдері қозғалады; ауа оларды сыртынан бірнеше рет арнайы ауажүргіш арналармен жүріп өтеді. Құбырлардағы газдың жылдамдығы 9–13 м/с, ал құбыр арасындағы ауаның жылдамдығы екі еседей кем. Аталған жағдай құбыр қабырғасының екі жағында мәндері бірдей жылуалмасу коэффициенттерін алуға мүмкіндік береді.

Регенеративті ауа қыздырғыш ішіне иректелген болат парақтар толтырылған ақырын айналып тұратын (3–5 айн./мин) барабаннан тұрады (5.5-сурет). Секторлы тақтамен ауа қыздырғыштың тұрқы екі бөлікке бөлінген – ауалы және газды бөліктер. Айналған кезде толтырмалар кезекпен біресе ауалы, біресе газды ағынды кесіп өтеді. Толтырманың тұрақсыз тәртіпте жұмыс істеп тұрғанына қарамастан ауа ағынын қыздыру тұрақты және бірқалыпты жүргізіледі. Газ бен ауаның қозғалысы – қарсы ағын бойымен жүргізіледі.



5.4-сурет

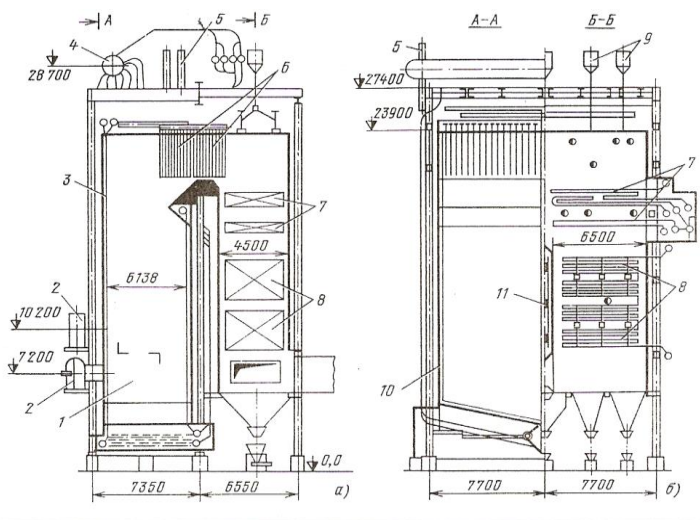


5.5-сурет

5.3. Қазандық агрегаттарының негізгі түрлері

5.6-суретте бу өнімділігі 420 т/сағ., қысымы 13,7 МПа (140 кг/см²) және температурасы 560 °С-тағы ТГМ-84Б маркалы газмазутты қазан құрылымы көрсетілген. Бұл қазандықтың өлшемдері басқа ірі қазандардың түрлеріне қарағанда аса үлкен емес (барабанның білігіне дейінгі биіктік небәрі 28,7 м). Қазандықтың ошағы жылу сәулесін екі жағынан да қабылдайтын (екі сәулелі)

экранмен екі симметриялы камераларға бөлінген. Бу қыздырғыштың бірінші сатысы фронтты қабырғаның биіктігін тұтас алып жатқан фронтты экраннан тұрады. Ошақтың төбесі де тұтас құбырлармен қапталып, төбелік экранды құрайды. Бұл – бу қыздырғыштың екінші бөлігі болып табылады. Оның үшінші сатысына тік орналасқан бір-бірінен алшақ қойылған «шымылдық» деп аталатын бөлігі жатады. Қалған ақырғы сатысы – конвективті газжүргіште орналасқан құбырлардың көлденең орналасқан пакеті. Нәтижесінде бу қыздырғышта 60 %-ға дейінгі жылу мөлшері сәулелену арқылы, ал қалғаны – конвективті түрде беріледі.



5.6-сурет. Газмазутты ТГМ-84Б бу қазаны

- а – бойлық кесінді; б – көлденең кесінді; 1 – ошақ; 2 – жанарғы; 3, 6, 7 – буқыздырғыштар; 4 – барабан; 5 – бу сепарациялау; 8 – экономайзер; 9 – бытыра шанағы; 10 – бүйір экраны; 11 – екі жақты экран*

Бүйірдегі экранның құбырларының төменгі жағы ошақтың ортасына қарай көлбеуленіп келеді. Осы құбырлардағы бусулы қоспаның қабатқа бөліну салдарынан болатын жоғары қызудан қорғау үшін ошақ жақ бөлігінен қалаумен (обмуровка) қорғалады. Қазіргі кезде бұл қазандық төрт немесе алты өнімділігі жоғары

жанарғылармен жабдықталған. Жанарғы санының аз болуы олармен жұмыс істеуді және жөндеу жұмыстарын жеңілдетеді.

Барлық буландырғыштың экрандық жүйесі және бу қыздырғыштың құбырлары жоғары температурада төмен қарай еркін созыла алады.

Конвективті шахтадағы құбырлардың сыртындағы мазут жаққандағы шөгіндіні тазалау үшін бытырамен тазалау жүйесі қолданылады. Пневмотасымалдау құрылғысы арқылы жоғары көтерілетін бытыралар төмен қарай конвективті шахтаға тасталынып құлаған кезде құбырға жабысқан күйе мен әртүрлі жабысқақ шөгінділерді ұрып түсіреді де, түтін газдарымен алып кетіледі.

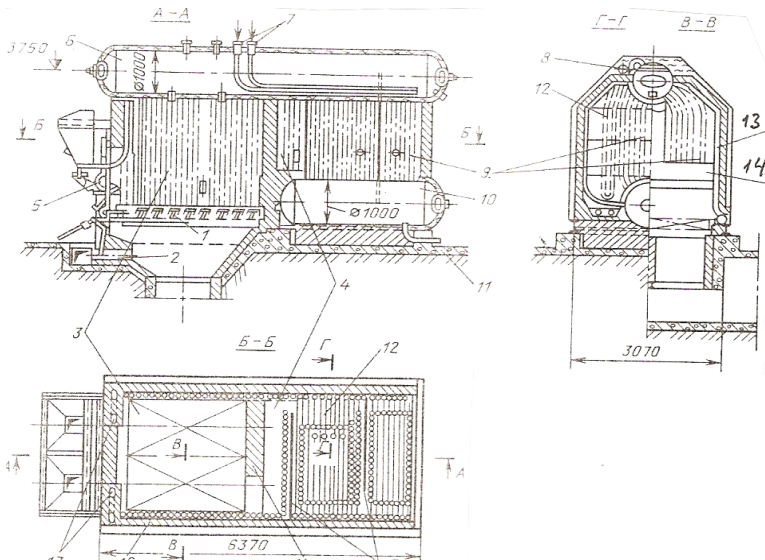
Айналып тұратын регенеративті ауақыздырғыш өзіндік тіреу құрылғысында қазандықтан біршама қашықтықта орнатылады.

Қазандық агрегатының тұтынатын отын мөлшері шамамен 29 т/сағ. – мазут немесе 30000 м³/сағ. – табиғи газ. Қорек суының температурасы 230 °С. Қазандықтың ПӘК-і 92,5 %. Ауа қыздырғыштан кейінгі шыққан ауаның температурасы 300 °С, мазутпен жұмыс істегендегі шығу газдарының температурасы 130 °С, табиғи газбен істегенде – 120 °С болады.

Өндірістің әр саласында, транспортта, коммуналды және ауыл шаруашылығында, сонымен бірге қуаты кіші электр стансаларында кең таралған өнімділігі шағын қазандардың негізгі түріне Ресейдегі Бийск қазан зауыты шығаратын тік суқұбырлы ДКВР қазандары жатады. Қазандықтың бұл түрі өнімділігі 2,5-тен 20 т/сағ. дейін; қысымы 1,4; 2,35 және 3,9 МПа-ға, ал температурасы 440 °С-қа дейін жететін қаныққан немесе қыздырылған бу шығарады. ДКВР қазандықтары әмбебапталған және тапсырыс берушілерге әр түрде жеткізіледі: шағындары – жиналған түрінде, ал өнімділігі жоғарылары – үлкен үш блок түрінде.

5.7-суретте табиғи айналымды, ошақ камерасы экрандалған екі барабанды ДКВР қазандығы көрсетілген. Барабандар қазандықтың білігі бойымен орналасып, олардың арасында қайнатушы құбырлардың дәлізді шоғыры орнатылған. Ошақ газдарының қозғалуы горизонталь бағытта – құбырларды көлденең және бұрылымдармен ағады. Газдарды бұру бөгеттер қою арқылы жүзеге асырылады және біріншісі шамотты кірпіштен жасалынса – келесісі

шойыннан құйылады. Бүйірдегі экранның құбырлары үстінгі жағы жоғарғы барабанға, ал төменгі жағы коллекторға бекітілген. Алдыңғы жақтағы қабырғаның ішіне орналасқан төмен түсу құбырлары жоғарғы барабанға көмекші тіреу болып табылады. Егер қазандықта бу қыздырғыш болса, онда ол қайнағыш құбыр шоғырларының бір бөлігінің орнына орналасады. Бу қыздырғышқа бу тікелей барабаннан келіп түседі де, ошақтың үстінде орналасқан коллектордан шығады.



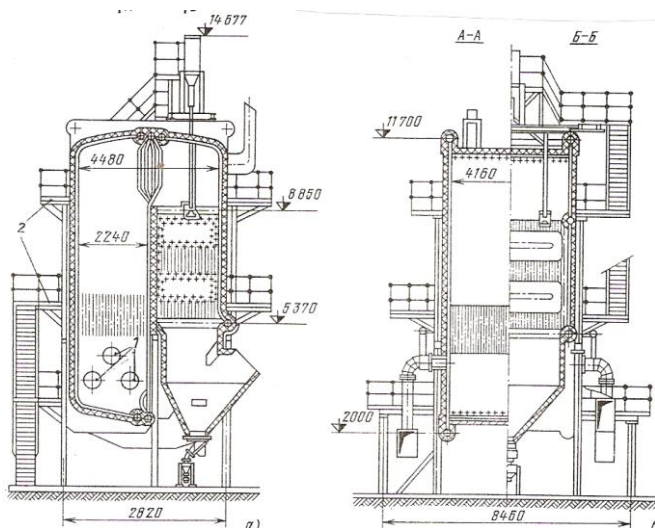
5.7-сурет. ДКВР-6,5-13-250 бу қазандығы

1 – колосникті тор; 2 – ауа беру; 3 – ошақ; 4 – толықжану камерасы; 5 – отын беру; 6 – үстінгі барабан; 7 – қорек суы; 8 – қыздырылған бу алу; 9 – қайнау құбырлары; 10 – астыңғы барабан; 11 – үрлеу құбыры; 12 – буқызырғыш; 13 – бүйір экраны; 14 – артқы қабырға; 15 – бөлгіш қабырға; 16 – қымтағыш; 17 – төмен түсу құбырлары

Қазандықтан шығатын газдардың температурасы 400 °С-қа дейін жетуі мүмкін. Сондықтан қазандықтан соң көбінесе су экономайзерін немесе ауа қыздырғышты орнатады. Бұл шара қазандықтың ПЭК-ін 90,5 %-ға дейін көтеруге мүмкіндік береді.

Су қыздырғыш қазандықтар суды жылу жүйесі үшін ысытып және оны тұрмыстық қажеттерге қолдану үшін қызмет етеді. Әдетте, жылу жүйесіндегі суды 70–104 °C-тан 150–170 °C-қа дейін қыздырады. Соңғы кездері суды 180–220 °C-қа дейін қыздыру көзделіп жүр. Себебі, суды жоғары деңгейде қыздыру арқылы тұтынушыға көп мөлшерде жылу беруге болады. Қазандықтар, әдетте судың тұрақты мөлшерінде жұмыс істейді, ал берілетін жылу мөлшері судың температурасын реттеу арқылы өзгертіледі.

5.8-суретте ПТВМ-30М-4 маркалы газмазутты суқыздырғыш қазандықтың жалпы түрі көрсетілген. Мазутпен жұмыс істегендегі оның жылуөнімділігі 41 МВт-қа (немесе 35 Гкал/сағ.) тең және пайдалануда жақсы жағынан танылған. Қазандық П әрпі тәрізді жинақталған және үш-үштен бүйір қабырғаларына орналасқан алты газмазутты жанарғылармен жабдықталған. Форсункалары мазутты ошаққа механикалық әдіспен бүркеді. Ошақ камерасы диаметрі 60 мм құбырлармен толығымен экрандалған. Конвективті жылу беті диаметрі 28 мм горизонталь орналасқан құбырлардан жасалынған. Конвективті шахта да құбырлармен экрандалған.



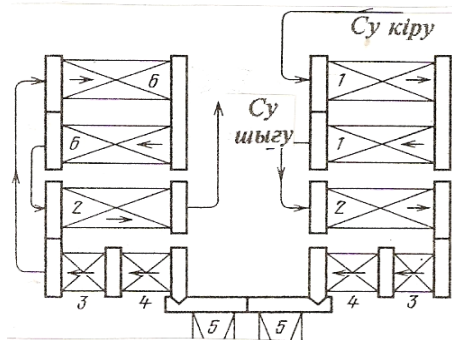
5.8-сурет. ПТВМ-30М-4 суқыздырғыш газмазутты қазандық

а – бойлық кесінді; б – көлденең кесінді;

1 – жанарғы; 2 – қызмет ету алаңы және сатылар

Қазандықтың, жеңілдетілген қабырғасы құбырларға тікелей бекітілген, ал өз кезегінде құбырлар қаңқалы рамаға сүйенеді. Мазутпен жұмыс істейтін мұндай қазандықтар бытырамен тазалау жүйесімен жабдықталады.

Қазандықтың су айналым жүйесі 5.9-суретте бейнеленген. Су ошақ камерасының алдыңғы экранына келіп түсіп, бүйірдегі экраннан шығады.



5.9-сурет. ПТВМ-30М-4 қазандығының су айналым схемасы.

1 – фронтты экран; 2, 3 – бүйір экрандар. 4 – конвективті беттер; 5, 6 – артқы экрандар

Әртүрлі технологиялық қондырғылар пештерден шығатын ыстық газдардың жылуын пайдалану үшін қалдықтарды пайдаланатын қазандық немесе **қазандық-утилизатор** деп аталатын қазанның түрі қолданылады. Қалдық газдардың температурасы жоғары болса (900 °С-тан жоғары) бұл қазандықтар сәулелі қыздыру беттерімен жабдықталып, кәдімгі бу қазандығы сияқты жинақталады, ошақтың орнына астынан газ келетін сәулелі камера орнатылады. Ауа қыздырғыш, егер өндіріске ыстық ауа қажет болмаған жағдайда орнатылмайды. Қалдық газдар сәулелі камерада кәдімгі қазандағыдай салқындатылады. Камераның үлкен көлемі қалың сәулелі қабат жасауға көмектесіп, газдардың қаралық дәрежесін арттырады. Сондықтан да мұнда сәулелі жылуалмасу басым болады.

Газдардың ирек құбырлары жоқ камерада алдымен суытылуы, ондағы кездесетін шлак немесе технологиялық

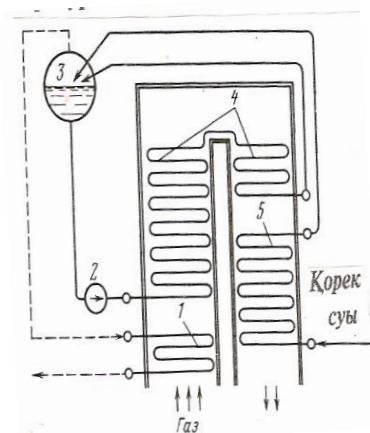
өнімдердің салқын қыздыру беттеріне дейін тез арада қатып қалуын көздейді.

Егер технологиялық қондырғылардан шығатын газда жанғыш компоненттер жоқ болса, онда ондай қазандықта жанарғылар болмайды.

Қазіргі кезде кара металлургия зауыттарының пештерінің соңынан қойылатын КУ маркалы сериялы универсал қазандықтар шығарылады – КУ-125, КУ-100-1, КУ-80-3, КУ-60-2. Мұндағы бірінші сан қазандық арқылы 1 сағатта өтетін газ мөлшерін білдіреді (қалыпты жағдайда мың м³ есебімен).

Газдардың кіру жағындағы температурасы 650–850 °С. Өндірілетін будың параметрлері: қысымы 1,8–4,5 МПа және температурасы 365–385 °С.

Мысалы, КУ-125 қазандығының бу өнімділігі – 27–41 т/сағ. Бұл сериялы қазандықтардың барлығы судың булану беттері арқылы көпеселеп жүруі негізінде жұмыс істейді (5.10-сурет). 5 су экономайзерінде қыздырылған су 3 барабанға беріліп, одан судың айналмасын қамтамасыз ететін 2 насоспен алынып, булану 4 ирек құбырлары арқылы айдалынады. Сонан соң субулы қоспа барабанға келіп түскен соң, онда бу судан бөлінеді. Су қайтадан айналым насосына беріліп, ал тазаланған бу жоғары температуралы аймаққа қойылған бу қыздырғышқа беріледі.



5.10-сурет. Қазан-утилизатордың схемасы

5.4. Бу қазандығының жылу балансы. Пайдалы әсер коэффициенті

Кез келген жылу агрегаты сияқты қазандықтың жылу балансы да келтірілген және шығындалған жылу мөлшерлерінің теңдігімен сипатталады: $Q_{\text{кел}} = Q_{\text{шығ}}$. Әдетте, жылу балансын 1 кг жанған қатты немесе сұйық отынға, не болмаса қалыпты жағдайдағы 1 м³ газтәрізді отынға қатысты етіп құрады. Сонымен, отынның физикалық жылуы мен суық ауаның жылуын есептемегенде былай жазуға болады:

$$Q_{\text{кел}} \approx Q_1^r$$

мұндағы Q_1^r – отынның бірлік мөлшерінің төменгі жану жылулығы.

Жылуудың суды қыздыруға, булануға сонан соң алынған буды қыздыруға жұмсалатын бөлігін **пайдаланылған жылу** (Q_1) – қалғанын **жылу шығындары** деп атайды. Қортындысында қазандықтың жылу балансының теңдеуін былай жазуға болады:

$$Q_1^r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

мұндағы Q_2 – қазандықтан шығатын газдармен бірге сыртқа шығатын жылу шығыны; Q_3 – отынның химиялық толық жанбауынан болатын шығын; Q_4 – механикалық толық жанбау шығыны; Q_5 – қазандықтың қабырғалары арқылы қоршаған ортаға тарайтын жылу шығыны; Q_6 – қазандықтан алып кетілетін шлақтың физикалық жылу шығыны.

Жылу балансының теңдеуін келтірілген жылуға Q_1^r бөліп, пайызбен алсақ, онда:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6,$$

мұндағы:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_1^r} 100\%$$

Жылу балансындағы Q_1 – пайдаланылған жылу мөлшері (бу алуға жұмсалынған) былай табылады:

$$Q_1 = \frac{D}{B}(h_6 - h_{c.c.}), \quad \text{кДж/кг}, \quad (5.1)$$

мұндағы D – қазанның бу өнімділігі, кг/с; B – жағылған отын мөлшері, кг/с; $h_6, h_{c.c.}$ – қыздырылған бу мен қорек суының энтальпиялары, кДж/кг.

Сонда $q_1 = \frac{Q_1}{Q_i^r} 100\%$ өзінің мағынасы және сандық мәні

бойынша қазандықтың ПЭК-і мен тұстасады, демек

$$\eta = q_1 = \frac{Q_1}{Q_i^r} 100\%. \quad (5.2)$$

Q_2 – қазандықтан шығатын газдармен бірге кететін жылу шығыны – түтін газдарының температурасы және қазандыққа келіп түсетін отын мен ауаның температурасынан үлкен болғандықтан орын алады да, ол жылу шығыны қоршаған атмосфераға таралады. Ол мына формула бойынша анықталады:

$$q_2 = \frac{H_{\text{шығ}} - H_{c.a.}^0}{Q_i^r} (100 - q_4)$$

мұндағы $H_{\text{шығ}}$ – шығу газдарының энтальпиясы, кДж/кг; $H_{c.a.}^0$ – теориялық суық ауа мөлшерінің энтальпиясы, кДж/кг.

$(100 - q_4)$ көбейтіндісінің формулаға кіру себебі мынадай – түтін газдары мен ауаның энтальпиясы ошаққа түскен 1 кг отын үшін емес, нақты жанған 1 кг отын үшін анықталады.

Q_3 – отынның химиялық толық жанбауынан болатын жылу шығыны келесі себептерге байланысты болады – егер жануға қажетті ауаның мөлшері жеткіліксіз болып, ошақтағы температура деңгейі төмен болса және ауа мен отынның жақсы араласпауы орын алған жағдайда.

Егер толық жанбау өнімдерін негізінен көміртекті газдардан тұрады деп есептесек, онда химиялық толық жанбаудың шығыны мына өрнекпен табылады:

$$Q_3 = V_{\text{CO}} Q_{\text{CO}},$$

мұндағы V_{co} – көміртекті газдың көлемі, m^3/kg ; Q_{co} – көміртекті газдың жану жылулығы, kJ/m^3 .

Q_3 – мәнін қазандықты сынау кезінде түтін газдарындағы CO , сонымен бірге басқа да H_2 , CH_4 , т.б. газдардың құрамын химиялық талдау арқылы анықтайды. Ал жаңа қазандықтарды жобалаған кезде $q_3 = (Q_3/Q_1)100$ % мәні $0,5-1,5$ % аралығында алдын ала беріледі.

Q_4 – механикалық толық жанбау шығыны қатты отындарды жаққан кезде ғана орын алады. Әдетте, ошаққа түсетін барлық отын бөлшектері жану процесіне әртүрлі себептермен қатыса алмайды. Оның бір бөлігі қалдық ретінде төменге құлайды да, келесі бөліктері шығу газдарымен бірге сыртқа тасылады. Оның мәні отынның қасиеттеріне, ауаның температурасына, ошақ камерасының жылулық жүктемесіне байланысты болады да $0,5-5$ % аралығында болады.

Q_5 – қазандықтың қабырғалары арқылы қоршаған ортаға таралған жылу шығыны – арнайы график бойынша табылады.

Q_6 – қазандықтан шығарылатын шлактың физикалық жылу шығыны – қатты отын жаққан кезде, ал отынды жалынды немесе құйынды жаққанда шлак ыстық күйінде шығарылғанда және күлі мол отынды жаққанда есепке алынады.

Сонымен (5.2) теңдеуіндегі Q_1 орнына (5.1) теңдеуіндегі мәнін қойсақ, қазанның ПӘК-нің формуласын мына түрде аламыз:

$$\eta = \frac{D(h_6 - h_{k,c})}{Q_1' \cdot B} \quad (5.3)$$

Егер отын мөлшерін табу қажет болса, онда

$$B = \frac{D(h_6 - h_{k,c})}{Q_1' \eta}$$

(5.3) формуласындағы ПӘК-ің мәнін қазандықтың тұрақты жұмыс істеп тұрған кезіндегі **балансты сынау** нәтижесі арқылы

табады. Мұны қазандықтың **тура балансы** деп атайды. Сынау жұмысы ұзақ уақыт және көп қаржыны қажет етеді. Сондықтан **кері баланс** формуласын да алуға болады:

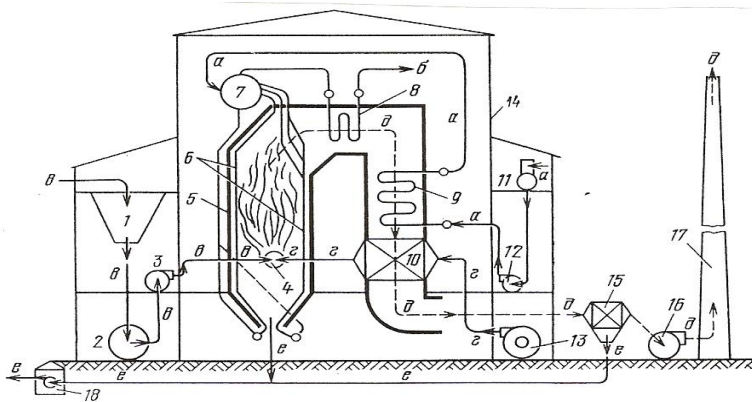
$$q_1=100-(q_2+q_3+q_4+q_5+q_6).$$

Аталған формула қазандықты жобалау есептеулерінде қолданылады. Сонымен бірге бұл формула қазандықта жанатын отын мөлшерін дәл анықтауға болмайтын кездерде де қолданылуы мүмкін. Қазіргі қазандықтардың ПӘК-і өте жоғары және 90 %-дан асады.

5.5. Қазандық қондырғының технологиялық схемасы

Тозаңтүріндегі көмірмен жұмыс істейтін барабанды қазандық қондырғысының схемасы 5.11-суретте көрсетілген. Көмір қоймасынан алынған отын таспалы конвейермен 1 көмір шанағына беріледі. Одан шыққан отын 2 көмір майдалайтын диірмені бар тозаң дайындау жүйесіне түседі. Тозаңдалған көмір арнайы 3 желдеткіштің көмегімен құбыр арқылы ауа ағынымен 5 қазан ошағының 4 жанарғыларына тасылады. Жанарғыларға сондай-ақ 13 үрлегіш желдеткішпен 10 ауа қыздырғыш арқылы екінші ауа беріледі. Қазандықтың қорек суының деаэрациялы қондырғысы бар 11 қорек багінен 12 қорек насосының көмегімен алынып, қазанның 7 барабанына беріледі. Барабанға берілер алдында ол 9 су экономайзерінде қыздырылады. Судың булануы 6 экрандық құбырлар жүйесінде жүргізіледі. Барабаннан шыққан құрғақ қаныққан бу 8 буқыздырғышқа келіп түсіп, одан әрі тұтынушыға жіберіледі.

Жанарғылармен қазандықтың ошақ камерасына берілетін отын мен ауаның қоспасы жанып, жоғарытемпературалы жалын түзеді (1500 °С шамасында). Жалын ошақтың ішкі жағына орналасқан экрандық құбырларға жылууды сәулелену арқылы береді. Экрандарға жылуының негізгі бөлігі берген ошақ газдары 1000 °С-та экранның жоғарғы жақ бөлігінде орналасқан фестон деп аталатын беттер арқылы өтіп, ары қарай бу қыздырғышты ағып өтеді.



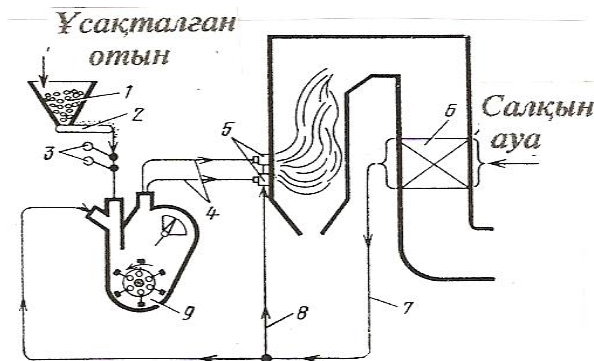
5.11-сурет. Қазандық қондырғының технологиялық схемасы
 а – су жолы; б – қыздырылған бу; в – отын беру жолы; г – ауа жүру жолы; д – жану өнімдерінің жолы; е – күл және шлақты алып кету

Сонан соң жану өнімдері су экономайзері және ауа қыздырғыш арқылы өтіп шамамен 130–150 °С-та қазандықтан шығады. Шығу газдары 15 күл ұстағыш қондырғысында күлден тазартылып 16 түтінсорғыштың көмегімен 17 түтін құбыры (мұржа) арқылы атмосфераға шығарылады. Түтін газдарынан ұсталынған күл және ошақтың төменгі жағындағы құныға құлап түскен шлак бөліктері су ағынымен арналарға түсіп 18 багерлі насостардың көмегімен арнайы үйінділерге айдалынады.

5.6. Қазандық қондырғысының көмекші жабдықтары

Тозаң дайындау жүйелері. Ұсатылған қатты отынды дайындау жұмыстарына оны кептіру, ұнтақтау және отын тозаңын жанарғыға тасымалдап жеткізу жатады. Бұл жұмыстар арнайы тозаң дайындау жүйелерінде жасалынады. Отынды ұнтақтау оның реакциялау бетінің ауданын күрт көбейтіп, жану процесін жақсартуға көмектеседі. Мысалы, диаметрі 20 мм көмір кесегін өлшемі 40 мкм бөлшектерге бөлгенде алынған ұнтақтардың жалпы бетінің ауданы кесек бетінің ауданынан 500 есе үлкен болады.

Тозаң дайындаудың ең қарапайым схемасы есебінде тозанды тікелей ошаққа үрлейтін түрін атауға болады (5.12-сурет). Дымқыл көмір шанағынан ұсатылған көмір қоректегішпен (питатель) диірменге ұнтақтауға беріледі. Және де бұл жерге ыстық ауаның бір бөлігі үрленеді (бірінші ауа). Кептіріліп, ұнтақталып және ірілеу бөлшектері еленіп алынған дайын тозаң 80–100 °С-та ауамен тасымалданып, жанарғыларға беріледі. Тасымалдау құбырларындағы тозаң мен ауаның қоспасын кейде азротозаң деп те атайды. Ыстық ауаның келесі бөлігі (екінші ауа) жанарғыға тікелей беріледі. Бірінші ауаның үлесі (15–40 %) отынның ұшпа заттарының мөлшеріне және оның ылғалдылығына байланысты болады.



5.12-сурет. Тозаң дайындау.

- 1 – шанақ; 2 – қоректегіш; 3 – қақпақ; 4 – тозаң құбыры;
5 – жанарғы; 6 – ауақыздырғыш; 7 – ыстық ауа; 8 – 2-ші ауа;
9 – диірмен

Ошаққа тозанды тікелей үрлейтін тозаң жүйелі қазандықтың өнімділігін реттеу қоректегіштің көмегімен іске асырылады ол диірменге берілетін көмір мөлшерін өзгертеді. Қазандықтың бу өнімділігін номиналды мәнінен 60 %-дан төмен түсіру кейбір диірмендерді тоқтату арқылы жасалынады.

Тікелей үрлейтін тозаң дайындау жүйесінде **балғалы диірмен** деп аталатын диірмен түрі кеңінен қолданылады (5.12-сурет). Ол ротор және ішкі жағы брондалған корпустан тұрады.

Диірменнің роторы ұрғыш балғалармен жабдықталған. Ұрғыштар әрқайсысының массасы 8 кг болатын көмірді ұнтақтайтын негізгі элемент болып табылады. Ротордың айналу жиілігі 1000 айн./мин.

Тарту және үрлеу құрылғылары. Отынның тұрақты жануы үшін ошаққа үздіксіз ауа беріліп және жану өнімдерінің үздіксіз шығарылып тұруын қамтамасыз ету керек. Ошаққа ауа ортадан тепкіш желдеткіштермен (үрлегіш желдеткіштері) беріледі.

Түтін газдарын қазандықтан шығару түтін құбырының табиғи тарту күшімен немесе арнайы орнатылған түтінсорғыш құрылғымен жүргізіледі. Түтін құбырының табиғи тарту күші ондағы газдың тығыздығы (меншікті салмағы) одан салқындау болатын атмосфералық ауаның тығыздығынан кем болуынан пайда болады. Бірақ қазіргі қазандарда шығу газдарының жолының кедергісі 3 кПа-дан кем болмайтындықтан, түтін құбырының табиғи тарту күші жетпейді. Бұл жағдайда жасанды тарту күшін жасау мақсатында **түтінсорғыш** қолданылады. Оның қалақтары күлдің бөлшектерінің әсрінен тозып кетпес үшін берік металдан жасалынып, қалыңдығы үлкейтіледі және түтінсорғыш газдардың жоғары температурасында жұмыс істеуге бейімделінеді. Ол үшін түтінсорғыш салқындатылатын подшипниктермен, ал кейде салқындатылатын білікпен жабдықталады.

Тартуүрлеу машиналары өнімділігі бойынша 5 %-дық артық өнімділікпен және тегеуріні бойынша 10 %-дық артық тегеурінмен тандап алынады. Үрлегіш желдеткіштің өнімділігі ошақтағы ауаның молдық коэффициентін және әртүрлі сору немесе ағып кетуді есептеп алғандағы жануға қажетті ауаның мөлшерімен анықталады. Түтінсорғыштың өнімділігі сорылған ауаны есепке алғандағы жану өнімдерінің мөлшерімен анықталады. Ауа жолының максималды кедергісі ауажүргіш, ауақыздырғыш және жанарғылардың кедергілерінен жинақталады. Түтін жолының кедергісі қазандықтың барлық телімдерінің кедергілерін біріктіреді – оған ошақтың басқы жағынан бастап түтін құбыры толығымен енеді.

Қазанның әр теліміндегі аэродинамикалық кедергілерді есептеудің әдістемесі арнайы кітаптарда келтірілген.

Тартуурлеу құрылғыларындағы электрлі қозғағыштардың қуаты өнімділік және тегеурін артықшылығын есепке алып анықталынады.

Қоршаған ортаны ластауды азайту және түтінсорғыштың бөлшектерін күлмен тоздырмау үшін түтін газдарының жолына күлұстағыштар орнатылады.

Қорғаныс құрылғылары. Қазандықтың жұмыс істеу тәртібінің бұзылуы тек қана тұтынушыға беретін су немесе будың параметрлерін өзгертіп және жұмыс тиімділігін төмендетіп қоймай, сонымен бірге жабдықтарды істен шығарып және де қызмет істейтін адамдардың өміріне қауіп төндіретін апатқа әкеліп соғуы мүмкін.

Мысалы, ошақтағы отын мөлшерінің аздығына байланысты (камералық жағу) аз ғана уақыт ішінде отынның берілмеуі жалынның сөнуіне әкеліп соғады. Отынның ары қарай қайта берілуі сөніп қалған ошақта отын мен ауаның қоспасының көп көлемде жиналып қалып, қайта тұтанған кезде жарылысқа жол берілуі мүмкін. Егер бу тұтынушы мөлшерден көп буды сарп етсе, онда қорек суының қазанға тұрақты берілу кезеңінде табиғи айналымды қазандағы барабанның су деңгейі күрт төмен түсіп кетіп, төмен түсу құбырларында су болмай қалуы мүмкін. Мұндай жағдайда экран құбырларына су берілмей, олардың шамадан тыс қызып, одан соң жарылып кетуі мүмкін.

Қазандағы барлық процеске әсер ету оған берілетін отын мөлшерін, ауаны және қорек суын реттеу және ошақтағы вакуумды қамтамасыз ету арқылы орындалады. Аталған жұмыстарды қолмен жасау қажетті нысанға өз уақытында әсер етуді кешіктіреді және үнемі аса зор ынтамен көңіл бөлуді қажет етеді.

Қазандық жұмысын автоматты реттеу қауіпсіздікті, жұмыс сенімділігі мен тиімділігін арттырады және қызметкерлердің санын кемітіп, жұмыс жағдайын жақсартады.

Мәселен, барабанды қазандардың жұмысын реттеу ондағы судың деңгейін бірқалыпты ұстау, жану процесінің тиімді өту, қыздырылған будың есепті температурасы, ошақтағы вакуум, қазандық суының тұз қоры, диірменді отынмен толтыру жүйелері арқылы іске асырылады.

Мысал ретінде қазан барабанындағы су деңгейін реттеудің жұмыс принципін қарастырайық. Реттегіш қазаннан босатылатын бу және қорек суын үздіксіз өлшеу арқылы олардың теңгерулігін қамтамасыз етеді. Қазанның жұмыс тәртібіндегі өзгеруге байланысты бу мен қорек суының арасындағы мөлшерлік айырмашылық қорек суын беретін реттеуіш қақпақшаға әсер ететін импульс ретінде пайдаланылады. Бірақ та осы операцияларды орындау барысындағы құтылмас қателердің салдарынан барабандағы су деңгейін міндетті түрде коррекциялау қолданылады.

Негізгі параметрлердің шектен тыс өзгеруін дер кезінде жұмыс персоналына хабарлап отыру үшін қазандық дыбыс және жарық дабылқаққышпен жабдықталады. Мысалы, судың шекті деңгейін, будың шекті температурасын, көмекші механизмдердің кенеттен тоқтап қалуын т.б. білдіретін дабылқаққыштар бар.

Механизмдерді іске қосу немесе тоқтату операцияларын тізбекті орындау үшін оларды блокировкалау қолданылады. Егер, жұмыс істеп тұрған жалғыз түтінсорғыш апатқа ұшырап тоқтап қалса, онда блокировка құрылғысы үрлегіш желдеткіш пен ошаққа отын беруді күрт тоқтатады. Үрлегіш желдеткіш авария себебімен тоқтатылса, онда да ошаққа отын беру өздігінен тоқтатылады. Ал, егер түтінсорғыш іске қосылмаса, онда блокировка жүйесі желдеткішті іске қосуға мүмкіндік бермейді т.б.

Әрбір қазандық, сонымен бірге, қорғаушы құрылғыларымен жабдыкталуы қажет. Олардың қатарына барабан мен бу қыздырғыштың шығу коллекторына орнатылатын сақтандырғыш қақпақшалар жатады. Бұл қақпақшалар барабандағы бу қысымы белгілі мөлшерден асып кеткен жағдайда артық буды шығарып жіберіп, қазанның барабаны мен қыздыру беттерін жоғары қысымнан қорғайды. Олардың саны мен диаметрі арнайы "Қазан бақылау ережелері" деп аталатын ережелермен анықталады. Одан бөлек, тозаң түріндегі отынды жағатын камералы ошақтар газды сақтандырғыш қақпақшамен қосымша жабдықталады. Ол ошақта жиналған тозаңның жарылуы кезінде оны шығарып жіберіп, қазанның қабырғасын, құбыр жүйесін және қаңқасын қирап қалудан сақтайды.

5.7. Бу қазанының ішкі процестері және оның су режимі

Барабан мен құбырлардың сулы кеңістіктерінде булану кезінде үздіксіз қорек суымен келіп, бірақ та бумен алып кетілмейтін су құрамында кездесетін әртүрлі тұздар жинақталады. Тұздардың мұндай жиналуы қыздыру беттерінің ішкі жағында тығыз қақ немесе шлам тұрып қалуына әкеліп соғады. Мұндай шөгінділердің болуы олардың төмен жылуөткізгіштігінің әсерінен және үлкен термиялық кедергісіне байланысты құбырлардың ішінде жүріп тұратын сумен немесе бумен салқындатылуы төмендеп, құбырдың қабырғасы шектен тыс қызып, жарылып кетуіне мүмкіндік береді. Сондықтан, бу қазанының сенімді жұмыс істеуі үшін ол тұздан тазартылған таза қорек суымен толтырылуы керек. Мысалы, қысымы 4 МПа-дан кіші барабанды қазанның қорек суының жалпы тұздылығы (Са және Mg тұздарының қоры) 10 мкг-экв/кг-нан кем болуы керек. Бу қысымы 10 МПа-ға дейін қорек суының жалпы тұздылығы 5 мкг-экв/нан кем болуы керек (тұздылық бірлігі ретінде қабылданған 1 мкг-экв дегеніміз судағы 20,04 мкг кальцийдің немесе 12,46 мкг магнийдің мөлшеріне сәйкес келеді).

Қазанның барабанынан шыққан бу өзімен бірге су тамшыларын, ал олармен бірге ондағы тұзды да ала шығуы мүмкін. Барабаннан шыққан тұздар буқыздырғышта және бу турбинасының қалақшаларына шөгіп қалып, олардың жұмысын нашарлатады.

Сонымен, қазанның сенімді жұмыс істеуі үшін айқындалған ішкіқазандық тәртіпті сақтау керек. Ол үшін:

1) қазан суында белгілі бір норма шегінде тұздардың төмен шоғырын ұстап тұру керек. Ол үшін барабаннан судың бір бөлігін тұзымен бірге шығарып отыру керек (ол операцияны үздіксіз үрлеу деп атайды).

2) қақ түзетін тұздарды бос жабыспайтын шлам ретінде шөктіріп алу мақсатында суды қазан ішінде арнайы реагенттермен өңдейді. Аталған шлам қазанның төменгі нүктелерінен қысқаша үрлеумен шығарылады (периодты үрлеу).

3) буды сепарациялауды ұйымдастыру – буды қазан суынан бөліп, «жуып» алу.

Қазанның тұрақты жұмыс кезіндегі қазан суындағы тұз мөлшері бірқалыпты мүмкіндік деңгейінде ұсталып тұру керек, демек қанша тұз мөлшері қорек суымен келіп түссе, соншалық мөлшерде үздіксіз үрлеумен шығарылып отыру керек. Үрлеме мөлшері D_{yp} , әдетте, қазанның бу өнімділігінің D пайызымен табылады:

$$d_{yp} = \frac{D_{yp}}{D} 100 \quad (5.4)$$

Қорек суының мөлшері D_{kc} үрлеме есебінен көбейеді де, мынаған тең болады:

$$D_{k.c.} = D + D_{yp} \quad (5.5)$$

D_{yp} мөлшері қазанның тұздық балансы арқылы табылады:

$$D_{k.c.} \cdot S_{k.c.} = D_{yp} \cdot S_{yp} \quad (5.6)$$

мұндағы $S_{k.c.}$, S_{yp} – тұздардың қорек суы мен үрлеме суындағы шоғырлары. Тұздың бумен шығарылып қыздыру беттеріне шөгетін шағын бөлігі (5.6) есепке алынбаған. Осыдан барып:

$$D_{yp} = \frac{D_{kc} S_{kc}}{S_{yp}} = D \frac{S_{yp}}{S_{yp} - S_{kc}} \quad (5.7)$$

$$d_{eh} = \frac{S_{eh}}{S_{eh} - S_{rc}} 100 \quad (5.8)$$

Әдетте үздіксіз үрлеме 0,3–3 % шамасында болады. Үрлеме жылу шығынын үлкейтеді, оны қазанның ПӘК-ін есептеу кезінде ескеру керек. Сонымен бірге үрлеме отын шығынын да арттырады.

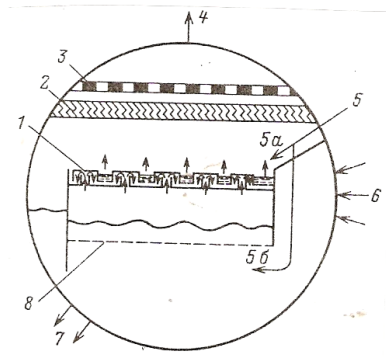
Қысымы 1,6 МПа-дан жоғары бу генераторларында (үлкен бу қазандарында) коррекциялаушы реагент ретінде, әдетте үшнатрийфосфат $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ қолданылады. Барабандағы қазан

суына енгізілген кезде ол NaOH-тың қатысумен Ca және Mg қоспаларымен реакцияласады, мысалы:



Аталған реакция нәтижесінде түзілген Ca және Mg қоспалары жабыспайтын бос шлам түрінде шөгіп, периодты үрлеменен шығарылады. Қазан суында (PO_4^{3-}) тің біраз артық бөлігін қалдырып отыру керек.

Тұздардың бумен алынып кетуін азайту үшін буды таза қорек суымен жуады. Ол үшін барабанның булы кеңістігінде қалқан орнатылып, оған барабанға келетін қорек суының 50 %-на дейін беріледі (5.13-сурет). Қалқан, әдетте астаулар жүйесі ретінде жасалынады. Оны қабат қалыңдығы 70 мм-ге дейін су басып одан барабанның сулы кеңістігіне асып құйылады. Бу қорек суының қабаты арқылы өтеді; будағы қазан суының тамшылары қорек суымен алып кетіліп, ал бу қорек суындағы тұзы аз тамшыларын ілестіріп алады. Сонан соң бу арнайы орнатылған әртүрлі бөгеттер арқылы өткенде ылғал тамшылары оларда тұрып қалып, ары қарай үлкейіп барабанның сулы кеңістігіне ағып түседі. Сонымен бу ылғалдан тазаланып (сепарацияланады) және тұздардан босатылады. Нәтижесінде барабаннан шыққан бу едәуір мөлшерде таза болады.



5.13-сурет. Барабанда буды жуу нобайы

1,8 – қалқан; 2 – сепаратор; 3 – бу қабылдағыш; 4 – бу алу;
5 – қорек суы; 6 – бусулы қоспа; 7 – төмен түсу құбырлары

Қазан суының сапасы және будың тазалығы арнайы құрылған химиялық қызмет арқылы тұрақты бақыланып отырады. Бұл қызметтің қарамағында үлкен цех болады, ол **химиялық су дайындау цехы** деп аталады. Бұл цехтың әртүрлі сүзгілерінде барлық қосымша су тазаланудан өтеді. Ол су қазандықта немесе электр стансасында орын алатын судың және будың шығындарын толтырады. Судың ең үлкен шығыны өндірістік қазандықтар мен **ЖЭО** (жылу электр орталығы) да болады, себебі көсіпорындар көбіне будың конденсатының бір бөлігін қайтармайды.

5.8. Қазан қондырғылары беттерінің коррозиясы және пайдалану ерекшеліктері

Металл және онымен әрекеттесетін ортаның арасында өзара физика химиялық процестердің нәтижесінде металл біртіндеп мүжіліп қиратылады. Бұл процесті **коррозия** деп атайды.

Қыздыру беттерінің сыртқы коррозиясы жану өнімдерінің құрамы және қыздырылатын құбырлардың температурасына байланысты болады. Мазуттың күлінде болатын ванадий оксиді қазанның металл элементтерінің 680 °C-та және одан үлкен мөлшерінде жоғары температуралық коррозия туғызады. Бұл коррозияға алдымен болаттың аустенитті класы беріледі. Төменгі температуралы коррозия күкірт қышқылының әсерінен болады. Күкірт қышқылының буы SO_3 -тің су буымен қосылғанда пайда болып, түтін газдарының 100–140 °C-тағы температурасында конденсацияланады.

Төменгі температурадағы коррозиядан әсіресе күкіртті мазут жағатын қазанның аяққы жылу беру беттері зардап шегеді. Онымен күресу үшін ошақ камерасындағы ауаның молдық коэффициентін $\alpha_{om} = 1,02-1,05$ деңгейіне дейін төмендету керек, себебі бұл мәні SO_3 түзілуін шектеп, күкірт негізінен SO_2 -ге дейін тотықтанады. Одан бөлек осы жағдайда шығу газдарының температурасын 140 °C және одан да жоғары көтеру қажет, себебі мұндай кезде күкірт қышқылының буы конденсацияланбайды. Осы себептерге сәйкес экономайзер мен

ауа қыздырғыштың құбырларының температурасы да шамадан тыс салқын болмауы керек. Ол үшін қорек суын алдын ала қыздырып алып, ал күкіртті отынды жаққан кезде ауа қыздырғышқа дейін ауаны алдын ала бу калориферінде жылытып алу қажет.

Қыздыру беттерінің ішкі коррозиясы негізінен электрохимиялық процестерге байланысты болады. Бұл жағдайда тотықтырғыш ретінде негізінен судағы еріген O_2 және CO_2 газдары болып табылады. Ішкі коррозияны болдырмау үшін қорек суындағы еріген газдарды **деаэратор** деп аталатын қондырғыда судан бөліп шығарады.

Буды сенімді және тиімді өндіру, сонымен бірге қажетті параметрлерге сай келетін ыстық су дайындау және жұмыс істейтін қызметкерлерге қауіпсіз еңбек жағдайын қамтамасыз ету мақсатында қазандық қондырғысын пайдалану бекітілген заңдар мен **Ережелерге** сәйкестігі қатаң сақталуы қажет.

Мәселе мынада: бу және су қыздырғыш қазандарды, қысыммен жұмыс істейтін ыдыстар мен құбырларды пайдалану аса зор қауіпке байланысты. Олардың кенет жарылуы орасан қиратуға және жарақаттануға алып келіп, үлкен материалдық зиян тигізеді. Осындай апаттардан сақтандыру үшін мемлекеттік қадағалау комитеті құрылған — ол қысқаша **"Мемтаутехқадағалау"** деп аталады (өндірісте және тау-кен жұмыстарындағы қауіпсіз жұмыс жүргізуді қадағалайтын мемлекеттік комитет; орысша "Госгортехнадзор"). Аталған комитет қазандар, қысыммен жұмыс істейтін ыдыстар және бу мен ыстық су құбырларының құрылымдарының ережелерін бекітеді. Бұл ережелер барлық министрстволар мен ведомстволарға міндетті түрде тарайды. Оның атын **"Қазанқадағалау Ережелері"** деп атайды, ал ол ереже таралатын нысандарды **Қазанқадағалау нысандары** деп атайды.

Қазанды жобалау, жасау және пайдалану талаптары "Бу және су қыздырғыш қазандарының құрылымдық және қауіпсіз пайдалану Ережелерінде" баяндалған. Электр стансаларының бу қазандары үшін жазылған қосымша

талаптар "Электр стансалары мен желілерін техникалық пайдалану Ережелерінде" келтірілген.

Осы көрсетілген материалдар негізінде әрбір қазан қондырғысы үшін жабдықтың техникалық төлқұжаты, оны пайдаланудың қызметтік және технологиялық инструкциялары, жөндеу және қауіпсіздік техникасы жөніндегі құжаттар т.б. түзілуі қажет. Қазанды пайдалануға тек қана көрсетілген Ережелер мен инструкцияларды оқып білу жөнінде емтихан тапсырған жұмыскерлерді жіберуге болады.

Қазанды пайдалану мынадай периодтарға бөлінеді: іске қосуға дайындық және жұмысқа қосу (қыздырып жағу); жұмыс кезіндегі қызмет; жұмыс істемеу кезіндегі күтім; агрегатты жөндеу. Жөндеу кезінде қазан агрегаты жөндеу персоналының қарамағында, ал басқа уақытта – кезекші (пайдаланушы) персоналдың қарамағында болады.

Қазан агрегатын қадағалаудың басты элементі – ол бекітілген мерзімде оны техникалық куәліктендіру болып табылады. Техникалық куәліктендіру Мемтаутехқадағалау инспекторының қатысуымен жүргізіліп – ішкі қарап шығу және гидравликалық сынаудан тұрады. Ішкі қарап шығу кемінде 4 жылда 1 рет жүргізілуі қажет. Мұны орындаған кезде бәрінен бұрын қазанның барабанын іштей қарап шығады.

Қазанды гидравликалық сынау кемінде 8 жылда 1 рет жүргізіледі. Гидравликалық сынақтың алдында міндетті түрде іштей қарап шығу болады. Сынау кезінде қазанды сумен толтырып, қысымды жұмыстық қысымнан жоғары мәнге көтереді де қазанның элементтерінің беріктігі мен тығыздығын тексереді.

Куәліктендіру нәтижелері қазан агрегатының төлқұжатына енгізіледі.

5.9. Қазан агрегатының зиянды шығаруларынан қоршаған ортаны қорғау

Органикалық отын жанған кезде бірқатар зиянды заттар пайда болады. Бұған алдымен күкірт оксидтері SO_2 және SO_3 сонымен бірге күлдер енеді. Кейбір отынның күлі тыныс алу

органдарына тек механикалық әсер етіп қана қоймай, организмге улану әсерін де тигізеді. Мысалы, кейбір қатты отынның күлінде фторлы қоспалар бар. Мазутты жаққан кезде ванадий қоспалары бөлінеді. Түтін газдарының ең улы компоненті ретінде соңғы кезде көп көңіл бөлініп жүрген азот оксиді болып табылады. Бұл зат отынның азоттық қоспаларынан және ауадағы азоттың жану зонасындағы жоғары температурада тотықтануынан пайда болады. Мұнымен бірге түтін газдарының кейбір құрамдары, мысалы, күкірт және азот оксидтері бір бірімен адам организмне зиянды әсерін күшейтеді. Табиғи газды жаққан кезде азот оксиді атмосфераны зияндайтын бірден бір маңызды зат болып табылады.

Дүние жүзі бойынша жылына органикалық отынды жағу нәтижесінде атмосфераға 100 млн т күл және 150 млн тоннадай күкірт ангидридi шығарылады. Бір ғана бу қазанының ошағынан (бу өнімділігі 950 т/сағ.) антрацит отынын жаққан кезде атмосфераға тәулігіне 60 тоннаға дейін азот оксиді келіп түседі. Атмосферадағы ылғалмен әрекеттесіп бұл оксидтер қышқылдар түзеді де, өндіріс орындары көп шоғырланған аудандарда "қышқыл жауын" ретінде жаууы мүмкін.

Біздің елімізде санитарлы инспекцияның шешімімен адамның тыныс алу биіктігінде зиянды заттардың атмосфералық ауадағы шекті мүмкіндік шоғырының (ШМШ) үлесі бекітілген (5.1-кесте).

5.1-кесте

Атмосфералық ауадағы зиянды заттардың ШМШ-і, мг/м³

Зиянды зат	Максималды бірлік	Ортағәуліктік
Күл және шаң	0,5	0,15
Азот диоксиді (NO ₂)	0,085	0,085
Күкірт диоксиді (SO ₂)	0,5	0,05
Ванадий ангидридi (V ₂ O ₅)	—	0,002

ШМШ мәнін жеткілікті мөлшерде ұстап тұру екі негізгі әдіспен қамтамасыз етіледі – пассивті және активті. Пассивті әдісте зиянды заттарды мүмкіндігінше үлкен территорияға таратып, соның әсерінен шығарылатын заттардың орташа шоғырын кеміту үшін

биік түтін құбырын (мұнара) салу негізделген. Бұл әдіс соңғы кезде кеңінен қолданылып, күкірт газдары мен азот оксидінің атмосферадағы шоғырын ШІМШ мөлшерінде ұстап тұруға мүмкіндік беріп тұр. Қазіргі жылу электр стансаларының түтін құбырларының биіктігі 300 метрден асып, ең күрделі және қымбат инженерлік құрылыс болып отыр.

Зиянды заттардың мөлшерін активті азайтуға бәрінен бұрын отын құрамындағы күкірт мөлшерін кеміту мақсатында оны механикалық байыту немесе газификациялау қолданылады. Сонымен бірге зиянды заттарды шығаруды азайтуда ошақ ішіндегі отынды жағуды рационалды ұйымдастырудың мәні үлкен. Мысалы, жалынның ядросындағы температураны төмендету арқылы ауадағы азоттың тотығуын кемітіп, түтін газдарындағы азоттың оксидін азайтады.

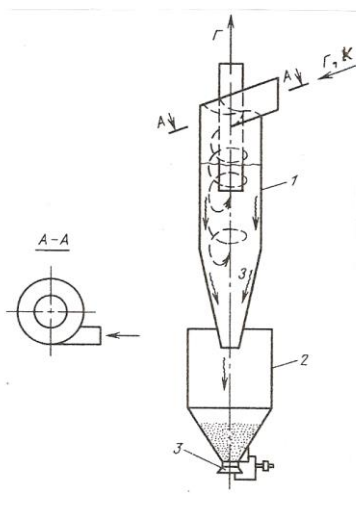
Қазіргі кезеңде қазандық ошағында отынды қайнау қабатында жағуға көп көңіл бөлініп отыр. Жоғарғы тарауларда айтылғандай, қайнау қабатындағы отынның жану температурасын 950 °С-тан аспайтын деңгейде жүргізуге болады. Бұл жағдайда ауаның азоты тотықтанбайды, күкіртті ангидрид отын құрамындағы кальций және магний қоспаларымен реакцияға түсіп, сыртқа шығарылмайды.

Сонымен қатар күл ұстағыш құрылымдар жоғары дәрежеге дейін жетілдірілген. Түтін газдарын күлден тазарту атмосфераны қорғаумен қатар түтінсорғышты абразивті тозудан сақтайды.

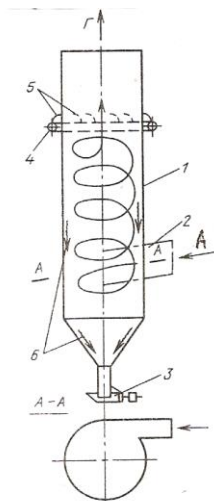
Күл ұстағыштың ең көп таралған түрі – **циклон ЦН** болып табылады (5.14-сурет). Мұнда күлдің бөлшектері түтін газынан ағынды циклон ішінде үйіру кезінде инерция күші арқылы бөлініп шығады. Құрғақ күлдің шетке лақтырылған бөлшектері циклонның қабырғасының бойымен төмен шанаққа құлайды да, тазарған газ орталық құбыр арқылы түтінсорғышпен тартылады. Циклонның диаметрі 400–1000 мм аралығында болғанда және газдың кіру жылдамдығы 15–20 м/с-ке тең болғанда тазалау дәрежесі 60–80 % шамасына жетеді. Циклонның диаметрін үлкейткенде оның тиімділігі төмендейді. Сондықтан өнімділігі жоғары қазандықтарда батареялы күл ұстағыштар қолданылады. Мұнда диаметрі кішігірім бір корпусқа орнатылған параллель жұмыс істейтін көптеген кіші циклондар бар. Әр кіші циклон ЦН циклоны сияқты жұмыс істейді, бірақ ағынды үйіру циклонның корпусы мен орталық құбыр арасына орнатылған қалақтардың көмегімен жасалынады.

Аталған күл ұстағыштардың бір кемшілігі – күлдің өте ұсақ бөлшектері ағынмен бірге ілесіп шығып, ұсталынбай қалады да, тазалау дәрежесі төмендейді. Оны болдырмау үшін беті суланған күл ұстағыштар қолданылады.

Ортадан тепкіш скруббер (5.15-сурет) өнімділігі 200 т/сағ.-на дейінгі бу қазандарынан шыққан түтін газдарын тазалауға қолданылады. Скруббер – астыңғы жағы конусты болып келетін цилиндрден, сұйықтандыру жүйесі және гидравликалық затвордан тұрады. Корпустың ішкі жағын тотықпау үшін қышқылға төзімді керамикалық плиталармен қаптайды. Сұйықтандыру жүйесінің саптамалары скруббердің ішінде сулы қабықша (пленка) жасап, күлдің майда бөлшектерін ұстап қалады. Су мен бөлшек қоспасы (пульпа) гидрозатвор арқылы сыртқа шығарылады. Скруббердің диаметрі 1500 мм және газдың кіру жылдамдығы 20 м/с болғанда тазарту дәрежесі 90 % -ға дейін жетеді. Су шығынының мөлшері – 0,1–0,2 л/м³ газ.

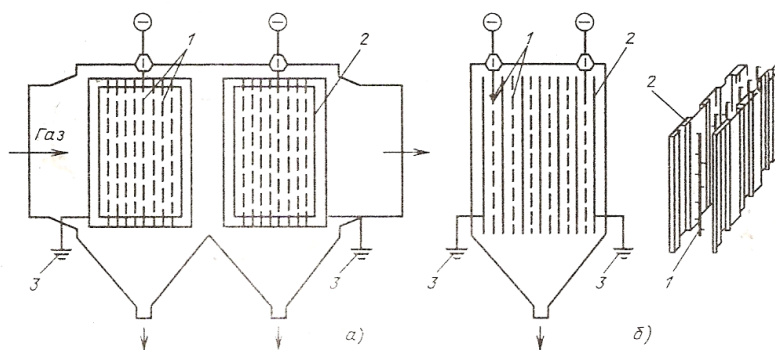


5.14–сурет. ЦН циклоны.
1 – корпус; 2 – күл шанағы;
3 – қақпақша; Г – газ; К – күл



5.15–сурет. Ортадан тепкіш ВТИ скруббері.
1 – корпус; 2 – қоспаның кіруі;
3 – күлді жуу; 4 – су коллекторы;
5 – суландыру; 6 – күл бөліктері;
Г – газ; А – ағын

Қуатты электр стансаларында қазіргі кезеңде негізгі күл ұстағыш аппараттар ретінде электрлі сүзгілер қолданылады (5.16-сурет). Электрлі сүзгі – ішінде пластиналы элементтері (шөктіргіш электродтар) мен олардың аралығына орнатылған коронарлы электродтардан тұратын құрылым. Коронарлы электродтар электр тогымен қоректейтін агрегаттың теріс полюсіне жалғанып, одан жоғары кернеулі (80 кВ) толқысулы түзелген ток алады. Шөктіргіш электродтар жермен жалғанады. Тозаңдалған түтін газы 1,5–2 м/с жылдамдықпен электродтардың арасымен қозғалады.



5.16-сурет. Электрлі сүзгінің нобайы
(а) мен электродтардың құрылымдары (б)

1 – коронарлы электродтар; 2 – шөктіргіш электродтар;
3 – жерге жалғау

Сәулелі электродтың жанында газдың қарқынды иондалуы болып, коронды разряд пайда болады, әртүрлі заряд алған газ иондары әртатас электродтарға тартылады. Күлдің бөлшектері де иондармен жолығысып заряд алады. Бөлшектердің негізгі бөлігі шөктіргіш электродтардың бетіне шөгіп, аз бөлігі коронарлы электродтарға отырады. Бөлшектер электродтарда жеткілікті мөлшерде жиналғанда оларды қағу арқылы түсіріп отырады. Жұмысы жақсы жолға қойылған электрлі сүзгілердің түтін газдарын тазалау дәрежесі 99,8 %-ға дейін жетуі мүмкін.

Бақылау сұрақтары:

1. Қазандық агрегаттар қалай жіктеледі және не үшін пайдаланылады?
2. Қазандық агрегаттардың негізгі түрлерін және олардың негізгі элементтерін атаңыз.
3. Бу қазандығының жылу балансы дегеніміз не? Оның п.э.к қалай анықталады және оның шамасының көрсеткіші қандай?
4. Қазандық қондырғының технологиялық схемасын бейнелеңіз.

6. ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

6.1. Жалпы түсінік

Бірінші тараудағы баяндалған электр бойынша жүргізілген алғашқы тәжірибелер мен XIX ғасырдың 70–80 жылдары оны іс жүзінде кең пайдаланудың басталуы аралығында 300 жылдам астам уақыт өтті.

Алғашқы электр құрылғылары тұрақты ток аспаптары болып телеграфияда, жарықтандыруда, гальвантехникасында және шиналық істерде қолданылды. Олар электрхимиялық көздермен қоректеніп қуаты жағынан едәуір шектелген еді.

Электрмашиналы көздер (генераторлар) жасалғаннан бастап қорек көздері ретінде алғашқы электрстанциялары қолданыла бастады.

Бұл электрстанциялардың генераторын поршенді бу машиналары айналдырып, электрмен жабдықтау радиусы, 1–5 шақырым аралықта, тұрақты токпен іске асырылады. Газ компанияларымен арадағы бәсекелестікке төзе отыра бұл станциялар жылдам дами бастады (бірінші кезекте Париж, Нью-Йорк, Петербург, сенімді ірі қалаларда).

XIX ғ. 90-жылдары үшфазалы синхронды генераторлар, трансформаторлар және асинхронды қозғалтқыштар жасалуына сәйкес, үшфазалы айнымалы токты пайдалану басталды.

Бірінші тәжірибе (1891): Лауфен – Франкфурт аралығында электр беру (ұзындығы 170 км, кернеу 28,3 кВ, берілетін қуат 220 кВт).

XIX ғ. Соңында электр берукернеуі 150 кВ жетті. Электрэнергия жылдам қарқынмен өнеркәсіпте, транспортта және тұрмыстық жағдайда жетекші орын ала бастады.

Қазіргі кезде іс жүзінде барлық жерде жиілігі 50 және 60 Гц үшфазалы айнымалы ток пайдаланылады.

Электрэнергияның артықшылығы:

өндіру – (негізінен механикалық энергия электр энергиясына түрлендірілді) – пайдаланылатын ресурстардың әртүрлілігі [гидроэлектрстанциялары (ГЭС), жылу электрстанциялары (ЖЭС), атом электрстанциялары (АЭС)],

қуаттарды топтастару және олардың орналасуын басқару мүмкіншілігі;

беру – электрэнергиясын сенімді және экономды түрде алысқа бере алу мүмкіншілігі;

тарату – электрэнергияны олардың қуатына тәуелсіз, тұтынушыға таратудың қарапайымдылығы;

тұтыну – электрэнергиясын басқа энергия түрлеріне (механикалық, жылулық, сәулелік) жеңіл түрлендіре алу мүмкіншілігі және басқа да жоғары тиімділікті электртехникалық технологияның болуы – электролиз, гальванотехника.

6.2. Электрэнергетикалық жүйелер

Қазіргі өнеркәсіп орындарын, коммуналдық және басқа электрэнергиясын тұтынушыларды электрмен жабдықтау электрстанциялар арқылы іске асырылады. Ал бұл электрстанциялары тұтынушыларға жақын немесе олардан алыс жерде орналасуы мүмкін. Қалай болғанымен де электрстанциялардан тұтынушыларға электрэнергиясы электрлік желілермен әкелінеді. Егер тұтынушы мен электрстанциясы аралығы алыс болса, электрэнергиясы жоғары кернеумен беріледі, яғни тұтынушы мен электрстанциясы аралығында жоғарлатқыш және төмендеткіш қосалқы станциялар салу қажет.

Кейде энергия көздері (отын бассейндері, су бассейндері) ірі зауыттардан, елді мекендерден және басқа да тұтынушылар орталықтарынан едәуір қашықтықта орналасуы мүмкін. Бұл жағдайда отынды беру газ, мұнай құбырларымен, ал жоғары сапалы көмір – темір жол арқылы тасымалдаумен іске асырылады. Бірақ көп жағдайда отынды тасу, мысалы көмірді, тиімді болмауы мүмкін; электрстанцияны отын бассейні маңайына салып, электрэнергиясын желідегі сымдар арқылы жеткізу әлдеқайда пайдалы болады.

Ортақ жүктемеге параллель жұмыс жасау үшін, электрстанциялар бір-бірімен, қосалқы станциялар арқылы, электр желілері көмегімен байланыстырылады.

Бір-бірімен электрберу желілері арқылы байланысқан электрстанциялар, қосалқы станциялар және электрэнергиясын қабылдағыштар жиынтығын *энергетикалық жүйе* деп атайды.

Бұл едәуір техника-экономикалық жетістікке қол жеткізеді:

- электрстанция мен генератордың бірлік қуатын жоғарлату мүмкіншілігі. Бұл белгіленген 1 кВт қуаттың бағасын төмендетеді, электрмашинажасау зауыттарының өнімділігін көбейтеді;

- тұтынушыларды электржабдықтау сенімділігін едәуір көтеру;

- әртүрлі электрстанциялар жұмысының экономдылығын көтеру. Бұл жағдайда ГЭС қуатын тиімді пайдалану және ЖЭС жұмыс режимінің экономды өтуі қамтамасыз етіледі;

- электрстанциядағы қажетті қуат резервін төмендету.

Электрэнергетикалық жүйе (ЭЭЖ) деп электрэнергиясын өндіру, беру, тарату және тұтыну процестерімен біріккен энергетикалық жүйенің электрлік бөлігін айтамыз.

Электр энергиясын өндірудің басқа өнеркәсіп салаларынан өзгеше болатын бірқатар ерекшеліктері бар.

Бірінші және ең маңызды ерекшелігі – электрді өндіру, тарату және энергияның басқа түрлеріне түрлендіру іс жүзінде бір сәтте өтеді. Жүйеде өндірілген энергия, онда тұтынылған энергиямен бірдей, яғни энергожүйелер қуаттары арасында дәл баланс бар.

Сонымен, электрэнергиясын өндіру, тарату және түрлендіру процестерінің бір сәтте өтуі электрэнергетикалық жүйені біртұтас етеді.

Екінші ерекшелігі – электрэнергетикалық жүйедегі өтпелі процестің тез өтуі. Толқындық процестер секундтың мыңдаған, одан әрі миллиондаған бөлігінде өтеді; қысқа тұйықталу, қосу және айыру, орнықтылықтың бұзылуы секілді істермен байланысты процестер көзді ашып жұмғандай сәтте өтіп кетеді.

Үшінші ерекшелігі – электрэнергетикалық жүйе байланыс, транспорт және т.б. өнеркәсіп салаларымен тығыз байланысты. Энергетикалық жүйенің бұл ерекшелігі энергожүйе жұмысының сенімділігін қамтамасыз ету өзектілігін күрт көтереді және

соның барлық элементтерінде жеткілікті қуат қорын жасауды талап етеді.

Энергожүйелердің дамуына сәйкес және олардың электр желілерінің бір-біріне жақындай беруіне сәйкес, оларды бір-бірімен біріктіру тиімділігі арта түседі. Энергожүйелерді бір-бірімен біріктіру, бір немесе бірнеше электрберу желілерінен тұратын жүйеаралық электрлік байланыстар көмегімен іске асырылады.

Энергожүйелерді бір-бірімен біріктірудің пайдалылығын мына негізгі дәлелдерден байқауға болады:

- а) қуаттың жиынтық резервінің азаюы;
- б) бір немесе бірнеше жүйелердегі гидроэлектрстанциялардың энергиясы мен қуатын пайдаланудың жақсарылуы;
- в) біріктірілетін энергожүйелердегі жиынтық максимум жүктеменің азаюы;
- г) электрстанциялардың, соның ішінде гидростанциялардың қуаттарының бірдей емес маусымдық өзгерулері жағдайында жүйенің өзара көмектесе алуы;
- д) жүктеменің бірдей емес маусымдық өзгеруі кезіндегі жүйедегі өзара көмектің болуы;
- е) жөндеу жұмыстарын жүргізу негізіндегі жүйенің өзара көмегі.

Біріктірілген энергожүйе, жеке энергожүйе секілді бірыңғай өндірістік комплекс болып саналады.

6.3. Электр желілері

Электр желісі электрэнергетикалық жүйесінің бір бөлігі. Ол электрстанцияда өндірілген қуатты қашыққа беру, қосалқы станцияларда электрэнергиясы параметрлерін (кернеу, ток) түрлендіру және қайсыбір аймақта, кейде тікелей электрқабылдағышқа дейін энергияны тарату мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Қазіргі кездегі энергожүйелердің электрлік желісі көпсатылығымен сипатталады, яғни электрэнергия көзі мен тұтынушы аралығында электрэнергия көп рет

трансформацияланылады. Бұл көпсалалы жүйе жеке элементтерінің топологиялық құрылымы өте күрделі.

Барлық электрқабылдағыштар, генераторлар, трансформаторлар және т.с.с. электрэнергетикалық жүйенің басқа элементтері берілген кернеуде әдеттегі режимде ұзақ жұмыс істейтіндей жобаланады. Бұл жағдайда жүйе элементтері ең тиімді техника-экономикалық көрсеткіштерге ие болады. Мұндай кернеулерді номиналды деп атайды, ал олардың мәнін мемлекеттік стандартпен орнатады. Қазіргі кезде электрлік желілер үшін 1 кВ-тан төмен 4 кернеу (110, 220, 380 және 660В), 1 кВ-тан жоғары 12 кернеу (3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750 және 1150 кВ) стандартталған. Барлық аталған цифрлар үшфазалы айнымалы ток жүйесіндегі кернеуі сызықты (фазааралық) мәндері үшін келтірілген.

Кернеуі 1кВ-қа дейінгі желілер – төмен кернеулі (ТК), кернеуі 3–35кВ желілер – орташа кернеулі (ОК), кернеуі 110–220кВ желілер – жоғары кернеулі (ЖК), кернеуі 330–750кВ желілер – аса жоғары кернеулі (АЖК), кернеуі 1150кВ желілер – ультра жоғары кернеулі (УЖК) деп аталады.

Жоғарыда айтылғандай, бүгінгі энергожүйелер күрделі құрылымымен және конфигурациясымен сипатталады. Бұл жағдайда оларды бір белгісіз арқылы жіктеу мүмкін емес. Бірақ қайсыбір белгілері желідегі номинал кернеу $U_{ном}$ мәнімен байланысты. Осындай белгілер қатарына территорияны қамту, желінің тағайындалуы және оны тұтынушының сипатын жатқызуға болады.

Желі қамтып жатқан территория мөлшері бойынша жергілікті ($U_{ном} \leq 3,5\text{кВ}$), аудандық (110–220кВ) және аймақтық ($U_{ном} \geq 330\text{кВ}$), желілер болады. Желілердің соңғы келтірілген категориясының негізгі болатын, аса жоғары кернеулі (АЖК) электрберу жолдары, жеке аудандарды, аймақтық біріккен энергожүйелердегі (БЭЖ) кішігірім энергияжүйелерін ғана бір-бірімен байланыстырып қоймай, сонымен бірге ірі бірлестіктерді де бір-бірімен байланыстыру үшін қолданылады.

Тағайындалуы бойынша жүйекұрушы және таратушы желілер болып бөлінеді. Жүйекұрушы желілер бірнеше электрстанцияларын параллель жұмыс істейтіндей етіп

аудандық энергия жүйесін (АЭЖ) қалыптастыру, сонымен бірге АЭЖ мен БЭЖ өзара біріктіру функциясын атқарады. Оған қоса олар, тарату желісін қоректендіру көзі болатын, жүйелік қосалқы станциялар жүйесіне электрэнергияны беруді қамтамасыз етеді. Тарату жолына бірқатар трансформаторларды қоректендіру немесе тұтынушылардың электрқұрылғыларын іске қосу үшін қолданылатын электр жолдары жатады. Мұндай электржолдары таратушы желінің негізін құрайды.

Желіге қосылатын тұтынушының сипаты бойынша өнеркәсіптік, қалалық және ауылдық болып бөлінеді. Ауылдық электр желілері едәуір ұзындығымен сипатталады. Олар жүктемелік тығыздық аса жоғары емес территорияны қамтиды және максимум пайдалану сағаттар санының жылдық мөлшері де көп емес. Керісінше, ұзындығы салыстырмалы алғанда аса ұзын емес, өнеркәсіптік желілер жүктемелігі тығыз территорияны жабдықтайды және ондағы өнеркәсіптік кәсіпорындарының жүктемелік графигі жоғары көрсеткішті толықтырумен сипатталады. Ал, қалалық желілер жоғарыдағы екі айтылған желілердің аралығында тұр. Қаладағы коммуналдық-тұрмыстық және өнеркәсіптік тұтынушылар қабысуы қалалық желі торабының жүктемелік графигінде едәуір бірқалыпты еместікті тудырады. Кей жағдайда бұл бірқалыпты еместік қосыша маневрлік қуат арту қажеттілігін тудырады. Ал, бұл өз кезегінде, жүктеменің күрт көтерілуі мен түсуінің тез әрекет етуін қамтамасыз етеді.

Ток түрі бойынша айнымалы ток және тұрақты ток желілері деп айырады. Айта кетелік, Қазақстанда кернуі 110 кВ және одан да жоғары үшфазалы айнымалы ток жүйесі саңылаусыз жерге қосылған нейтралмен (бейтарабымен), ал төмендеу кернеулі желілер доғасөндіргіш реактор арқылқы оқшауланған немесе жерге қосылған нейтралымен (бейтарабымен) орындалады.

Тұрақты ток желілері өнеркәсіптегі қайсыбір электртехнологиялық процестерді қамтамасыз ету үшін пайдаланылады. Бірқатар механизмдердің электржетектері, бірен-сараң транспорт электрлендіруі тұрақты ток арқылы іске

асырылады. Тұрақты токтың ұзын электрберілісі жүйеаралық байланыс ретінде жиі пайдаланылады.

Конфигурация жағынан ажыратылған және тұйықталған жүйелер болып бөлінеді. Ажыратылған желілерге, тұтынушыларды бір қорек көзінен жабдықтайтын, радиал немесе радиал-магистралды ток жолдарымен құрылған желілер жатады. Мұнда әрбір тұтынушы бір бағыттан ғана қорек алады. Тұтынушыларды кем дегенде екі жақтан қоректендіріп желілер тұйықталған деп аталады. Тұйықталмаған желінің ең қарапайым түрі – бірконтурлы (айналмалы) желі. Қоректендіруші желілер, әдетте, күрделі – тұйықталған болып келеді, яғни өте көп контурдан тұрады.

Орналастырылуына қарай ішкі және сыртқы желілер болады. Ал, конструктивті орындалуына сәйкес желілер *ішкі сымды* ($<1\text{kV}$), кабельді ($<500\text{kV}$) және ауа желісі болып бөлінеді. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың ішкі желілері, өндіріс шартымен анықталатын биіктікте цехтардың колонкалары мен қабырғалары бойымен, жабық комплекті ток сымдары арқылы орындалады. Қалалық және өнеркәсіптік тарату желілерінің негізін $6\text{-}20\text{kV}$ кабельді желілер құрайды. Ауалық желілер көбінесе ауылдық тұтынушыларды электрмен жабдықтау үшін сонымен бірге аудандық және жүйекұрушы желілер үшін қолданылады.

6.4. Энергожүйедегі электрстанциялардың режимдері мен жұмысы

Электрэнергетикалық жүйенің (ЭЭЖ) негізгі міндеті – тұтынушыларды сенімді және экономды электрмен жабдықтау.

ЭЭЖ берілген уақыт кезеңіндегі немесе қайсыбір уақыт аралығындағы күйін оның жұмыс режимі деп атайды. Режим параметрлері ретінде әдетте жиілік, ток, кернеу және қуат мәндерін қарастырады. Егер уақыт ағымында режим параметрлері өзгермеген болса, онда ЭЭЖ режимі – орнықты, ал өзгеріп отыратын болса – өтпелі деп аталады.

Қысқаша тұйықталу, электржабдықтардың істен шығып қалуынан және қызметкерлердің дұрыс емес іс-қимылдарынан туындайтын апаттық режим ЭЭЖ үшін өте қауіпті болады. Апаттық режимді дереу жою қажет.

ЭЭЖ бір күйден екінші бір күйге ауысуы өтпелі режимде өтеді. Ауытқу әсерінің мәніне сәйкес өтпелі режимдер екі үлкен топқа бөлінеді.

Аз ауытқу болғандағы өтпелі режим. Бұл жағдайда ЭЭЖ статикалық орнықтылықта болуы және де аз ауытқудан соң бастапқы режимдік қалпына келуі қажет.

Үлкен ауытқу болғандағы өтпелі режим. Бұл режим қалыпты жағдайда да, апаттық ситуация кезінде де тууы мүмкін. Бұл режимге қатысты динамикалық орнықтылық деген ұғым енгізілген, яғни электрэнергетикалық жүйенің үлкен ауытқудың әсерінен кейін бастапқы күйіне қайтып оралу қабілеті. Мысалы, электрстанцияның синхронды генераторына үлкен жүктеме түскен кезде оның кернеуі азаяды. Кернеуді қайтадан қалпына келтіру үшін ауытқуды жоққа шығаратын арнайы әдістер қолданылады.

ЭЭЖ режимдерін басқару оперативті қызметкерлер немесе автоматты реттеуіштер мен автоматиканың апатқа қарсы құрылғылары арқылы іске асырылады.

Бүгінгі таңда ЭЭЖдағы барлық автоматика микропроцессорлық жүйелерге негізделген.

Энергетикалық жүйеде электрстанциялар арнайы жүктемелік график бойынша жұмыс істейді.

Энергожүйелердің жиынтық жүктемелік графиктері біркелкі еместігімен ерекшеленеді. Графиктің толу коэффициентінің мәні үлкен емес және 0,5–0,6-дан аспайды. Графиктерде айқын көрінетін күндізгі және кешкілік максимумдар бар. Оларды жабу әртүрлі станциялардың қатысуымен іске асырылады. Электрстанцияның жүктемелік графигін білу арқылы электржабдықтарды жөндеу жұмыстарын жүргізуді жоспарлауға болады. Әдетте ГЭС агрегаттарын қыста, ал ЖЭС – көктемде және жазда жөндейді.

Энергожүйедегі жүктеменің кездейсоқ түрін еске ала отыра оның қуаты бойынша резервін жасау қажет. Эксплуатациялық (ремонттық және апаттық) резерв әдетте жүйе станциясының белгіленген қуатының 10–12 % құрайды. Одан басқа, шамамен 3 % болатын желілік резерв те қарастырылады.

6.5. Электржабдықтау жүйелері*

Өндіріс орындарының электрлік жабдықтау жүйесі жергілікті өндірістік, көліктік, коммуналдық және ауылшаруашылық тұтынушылардың комплексі электрлік жабдықтауын қамтамасыз ететін энергетикалық жүйенің қосалқы жүйесі болып табылады. Сонымен бірге өндіріс орындарының электрлік жабдықтау жүйесі электрлік жабдықтауға белгілі бір талаптар қоятын сол өндіріс орнының технологиялық жүйесінің қосалқы жүйесі болып табылады.

Өндіріс орындарының электрлік жабдықтау жүйесі өнеркәсіптік қабылдағыштарды электр энергиясымен қамтамасыз ету үшін құрылады.

Мұндай тұтынушыларға түрлі машиналар мен механизмдердің электр қозғалтқыштары, электрлік пештер, электролиздік құрылғылар, электр пісіру аппараттары мен машиналары, жарықтандыру қондырғылары және басқа да өнеркәсіптік тұтынушылар жатады.

Қазіргі кезде тұтынушылардың көбісі электр энергиясын электр желілері арқылы электр энергия көздері мен электрстанцияларын байланыстыратын энергетикалық жүйеден алады.

Электрлік жабдықтау – тұтынушыларды электр энергиясымен қамту.

Электрлік жабдықтау жүйесі – ол тұтынушыларды электр энергиясымен қамтамасыз етуге арналған электр қондырғыларының жиынтығы.

Орталықтандырылған электрлік жабдықтау – ол тұтынушыларды энергетикалық жүйеден жабдықтау.

Электр энергия қабылдағышы – ол электр энергиясын басқа бір энергияға түрлендіретін аппарат, агрегат және т.б.

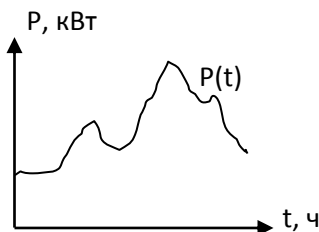
Электр энергия тұтынушысы – ол технологиялық процесі ортақ, белгілі аймақта орналасқан электрқабылдағыш немесе электрқабылдағыштар тобы.

* Параграф Т. С. Малдыбаевамен бірге дайындалған

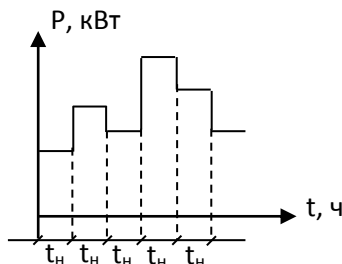
Тәуелсіз қоректену көзі – ол апаттық режимнен кейін басқа қоректену көздерінде кернеу жоғалса да, өзінің кернеуін сақтап тұратын қоректену көзі.

Электр жүктемелерінің графиктері. Электр жүктемелері және қабылдағыштардың, цехтағы қабылдағыштар тобының, сондай-ақ цехтың, жалпы зауыттың тұтынатын электр энергиясын сипаттайды. Өндірістік кәсіпорындардағы электр жабдықтау жүйесін жобалау және пайдалану барысында жүктемелердің негізгі 3 түрі есептелінеді: активті қуат P , реактивті қуат Q және ток I .

Электр қуатын өлшеуіш аспаптар арқылы көзбен бақылауға болады. Жүктеменің уақыт бойынша өзгеруін өздігінен жазатын аспаптар арқылы тіркеуге болады (6.1-сурет). Бірдей уақыт аралығында алынған активті және реактивті қуат санағыштары бойынша пайдалану барысында активті және реактивті қуаттардың уақытқа байланысты өзгеруін, әдетте, сатылы қисық арқылы көрсетеді (6.2-сурет).



6.1-сурет. Тіркейтін аспап көрсетуі бойынша жүктеме графигі



6.2-сурет. Активті қуат санағышының көрсетуі бойынша жүктеме графигі:
 t_n – бірдей интервалдар

Активті және реактивті және тоқтың уақыт аралығында өзгеру қисығын сәйкесінше активті қуат, реактивті қуат, тоқтың жүктеме графиктері деп атайды.

Ұзақтығы бойынша жылдық графиктерді тұрғызу. Жыл бойына барынша көп жүктелетін күн – 22 желтоқсан, ал ең аз жүктелетін күн – 22 маусым болып қабылданған. Осы күндердің

тәуліктік графиктері арқылы ұзақтық бойынша жылдық графикті тұрғызуға болады.

Қазіргі кезде өндіріс орындарында электр жабдықтау үшфазалы айнымалы ток арқылы іске асады. Тұрақты ток қабылдағыштардың қоректенуіне түрлендіргіштік агрегаттар орнатылған (жарты өткізгіштік түзеткіштер, сынаптық түзеткіштер, қозғалтқыш-генератор (Қ-Г) және механикалық түзеткіштер) түрлендіргіштік қосалқы станциялар құрылады.

Кернеуі 1000 В-қа дейін оқшауланған бейтарабы бар электрлік қондырғыларды аса қауіпсіздікті талап ететін жерде қолдану жөн (торф өндіру кәсіпорындарында, көмір шахталарында және т.б.).

Үлкен жиілікті және жоғары жиілікті қондырғылар металды балқыту үшін қолданады. Жоғары жиілікті қондырғыларға, мысалы текстилді өнеркәсіпте жасанды жібек өндіретін электрқозғалтқыштар жатады (133Гц).

Активті қуат – пайдалы жұмысты өндіру үшін уақыт бірлігінде бөлінетін энергияны сипаттайды.

Қабылдағыштың қысқыштарындағы толық қуатты комплексті түрде былай көрсетуге болады

$$S=U \cdot I \cos \varphi + j U I \sin \varphi = P + j Q,$$

мұндағы Q – реактивті қуат, кВАр.

Реактивті қуаттың жүктемеге байланысты: индуктивті немесе сыйымдылықты болатыны белгілі. Торап элементтерінде реактивті қуаттың шығыны да болып тұрады, олар электрэнергия қабылдағыштары тұтынған реактивті қуатпен өлшемдес. Өндіріс орындарындағы реактивті қуаттың ең негізгі тұтынушылары мыналар: асинхронды қозғалтқыштар (АҚ) (барлық тұтынылған қуаттың 60–65 % құрайды), трансформаторлар (20–25 %), бұрандалы түрлендіргіштер, реакторлар, ауалы және кабелді электр тораптары және басқа қабылдағыштар (10 %).

Активті қуат P , реактивті қуат сияқты қабылдағыштармен тұтынылады және торап элементтері мен электр қондырғыларында шығынға ұшырайды.

Реактивті қуат – электр станциялардағы генераторлармен, синхронды қозғалтқыштармен, күштік конденсаторлар батареяларымен, тиристорлар және желілермен өндіріледі, ал активті қуатты тек электр станциялардың генераторлары өндіреді.

Реактивті қуатты сипаттайтын негізгі нормативті көрсеткіш болып, активті қуаттың коэффициенті – $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ алынған.

Өндірістік орындардың қоректенетін кірісінде бұл көрсеткіш 0,92–0,95-ке тең болуы қажет. Бірақ P/S деген қатынас реактивті қуаттың нақты өзгерісінің динамикасын көрсете алмайды. Мысалы, бұл коэффициент 0,95-тен 0,94-ке өзгерген кезде реактивті қуат 10 % өзгереді, ал 0,99-дан 0,98-ге өзгергенде – реактивті қуат 42 % өзгереді.

Есептеу кезінде $\operatorname{tg} \varphi = Q/P$ қатынасын қолданған ыңғайлы, бұл қатынасты реактивті қуаттың коэффициенті деп атайды.

Реактивті қуатты өтемелеу – бұл тораптын өткізгіштік қабілетін арттыратын, электр энергия және қуаттың шығындарын азайтатын және де тораптағы кернеудің режимін жақсартатын өтемелік қондырғыларды орнатуды айтады.

Энергожүйелер өндірістік орындарын реактивті қуатпен толық қамтамасыз ете алмайды. Сондықтан реактивті қуаттың теңдігін сақтап қалу үшін, энергожүйелерден өндіріс орындары тұтынатын реактивті қуатты төмендететін бірнеше шаралар қолданылады.

Өтемелеуші қондырғыларды таңдағанда, жақын маңда орналасқан электростанциялардағы генератордың реактивті қуаттарын қолдану дәрежесін анықтау керек. Мұндай мақсаттылықтың критерийі ретінде реактивті қуатты өндіруге және тасымалдауға кететін келтірілген шығындар табылады. Бұл кезде өндіруге кететін шығындар тек қана генератордағы қосымша шығындарының бағасымен анықталады. Егер желілердің санының және қимасының артуын, трансформаторлардың санының артуын қажет етпесе ғана, көптеген жағдайларда станция генераторынан реактивті қуат тасымалдау экономикалық жағынан тиімді болады.

АҚ қарағанда синхронды қозғалтқыштардың ең бірінші артықшылығы ол – қоздыру тогын өзгерту арқылы синхронды қозғалтқыштардағы реактивті қуаттың мәнін өзгертуге болады.

Өндіріс орындарында реактивті қуатты өтемелеу үшін қолданылатын негізгі құрал – күштік конденсаторлар батареялары болып табылады. Статикалық конденсатор құрылғылар бірнеше конденсаторлардан тұрады. Оларды жұмыстық кернеуге және есептік реактивті қуатына байланысты бір бірімен параллель, тізбектей-параллель немесе тізбектей қосады.

Өндірістік кәсіпорындарында құрылғылардың реактивті қуатын, ЭҚ-қа параллель қосылатын (көлденең өтемелеу), статикалық конденсаторлар көмегімен өтейді. Ал кейбір жағдайларда, атап айтқандай, торап жүктемесі аса тез өзгертін жағдайларында, мысалы, қорек көзіне доғалық пештер, дәнекерлеу құрылғылары және басқалар қосылғанда, конденсаторды тізбектей (тігінен өтелеу) жалғанғаны дұрыс.

Электрмен жабдықтау жүйесі ең қолайлы және дұрыс шешілген болса, жоғарғы кернеу көздері тұтынушыларға максималды жақын болып орналасады, ал электр энергияны қабылдау бірнеше пунктерге бөлінеді, бұл торап буындарының санын және аралық трансформациялау сатыларын минималды деңгейге жеткізеді.

Қосалқы станция дегеніміз – трансформаторлардан немесе және басқа да электр энергияның түрлендіргіштерінен, тарату құрылғысынан (ТҚ), сонымен қатар көмекші құрылғылардан (аккумулятор батареясы немесе басқа да екіншілік тізбектің қорек көздері, конденсаторлар батареясы, тығыздалған ауа алатын компрессорлық станцияларды, басқару орындары, үй-тұрмыс орындары және т.б.) тұратын электр энергияны түрлендіру мен таратуға арналған электрқондырғы.

Өндірістік кәсіпорындар үшін трансформаторлы қосалқы станциялар (БТҚ (ГПП), ТҚ (ТП)) ең ыңғайлы. Олардан басқа жартылай өткізгішті, машиналы және басқа да тоқ немесе жиілік түрлендіргіші бар түрлендіргіш қосалқы станциялар (ПП) қолданылады, олардың жалпы құрамы жағынан трансформаторлар қосалқы станциясының аз ғана айырмашылығы бар.

Қорек көзінен келетін энергия түрлендірілмей, тек электрэнергия қабылдағыштарына тарататылса мұндай қосалқы станция – таратқыш қосалқы станция (РП) деп аталады.

Ірі энергосыйымдылықты кәсіпорындарда жоғарғы кернеулі 35–220 кВ терең еңгізу түріндегі, 6–35 кВ ток сымдар түріндегі ЭЖЖ (СЭС).

Кейбір кезде терең еңгізу мен ток сымдар қатар қолданылады.

Терең еңгізу деп тұтынушылардың электр қондырғыларғына жоғарғы кернеу 35–220 кВ максималды жақындатылған ЭЖЖ атаймыз. Бұл кезде аралық трансформациялау сатысының саны және аппараттар саны минималды болады.

Өте ірі кәсіпорындарда желінің қоректенетін кернеуі 330–550 кВ болған кезде, электрэнергия $U=110\text{--}220$ кВ трансформацияланады. Терең еңгізу магистральді және радиалды схемалар бойынша орындалады.

Әр қосалқы станцияда тарату құрылғылары бар. Оларға коммутациялық аппараттар, қорғаныс және автоматика құрылғылары, қосымша құрылғылары, өлшеу аспаптары, жинау және қосу щиналары кіреді.

Конструктивті орындалуына қарай РУ ашық және жабық болып бөлінеді. Олар комплекті немесе жинақталған (қолданылатын жерде жиналады) болады.

Ашық таратушы құрылғылары (АТҚ) (ОРУ) деген – барлық немесе негізгі жабдықтары ашық ауада орналасқан таратушы құрылғы; жабық таратушы құрылғылар (ЖТҚ) (ЗРУ) – жабдықтары ғимаратта орналасқан.

Комплекті таратушы құрылғы (КТҚ) (КРУ) – бөлшектеп немесе түгелдей жабылған шкафтардан немесе аппараттар орналасқан блоктардан, қорғаныс және автоматика құрылғыларынан, өлшеуіш аспаптарынан, көмекші құралдарынан тұратын және іште орналастыруға арналған таратушы құрылғы. Ол жиналған болып немесе жинауға толық дайын болып әкелінеді.

Сыртта орнатылатын комплектті тарату құрылғы (КРУН) – бұл сыртта орнату үшін арналған КРУ.

Өндірістік объектерді электржабдықтау үшін кернеуі 6–10/0,4–0,23кВ болатын іште орналатын КТП қолданады. Мұндай қосалқы станцияларды цехтарда және тұтынушыларға жақын ораналасқан басқа да ғимараттарда орнатады, ол электр қабылдағышқа баратын таратушы желіні оңайлатады және арзандатады.

Электр қондырғылар электр қауіпсіздігіне қатысты төрт түрге бөлінеді:

а) бейтарабы терең жерге қосылған немесе тиімді жерге қосылған желідегі 1кВ жоғары кереулі электр қондырғылар;

б) бейтарабы оқшауланған немесе доға сөндіргіш реактор арқылы жерлендірілген;

в) тікелей жерлендірілген бейтараптамалы 1кВ дейінгі электр қондырғылары;

г) оқшаулаамаланған бейтарапталмаған 1кВ дейінгі электр қондырғылар.

Тікелей жерлендірілген бейтараптама дегеніміз, жерлендіргіш құрылғыға тікелей немесе аз кедергі арқылы (мысалы, трансформаторы арқылы) қосылған трансформаторлар немесе генератор бейтараптамасы.

Оқшаулаамаланған бейтараптама деп жерлендіргіш құрылғыға қосылған немесе оған үлкен кедергілі сигнал беруші, өлшеуіш, қорғаушы аспаптар және жерлендіруші доға сөндіргіш реактор мен оған қажетті құрылғылар арқылы трансформатор немесе генератор бейтараптамасын айтамыз.

Электр қондырғыштың белгілі бір бөлігін немесе басқа бір қондырғыны жерлендіру деп сол бөлігі жерлендіруші құрылғымен арнайы электрлік қосылуын айтады. Электр қондырғысының металды бөліктерін, электр қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында қолданылатын жерлендіруді қорғаныстық жерлендіру деп атайды.

Жұмыстық жерлендіру – электр қондырғысының ток жүретін бөлігін жерлендіру. Ол электр қондырғының қалыпты жұмыс режимін қамтамасыз етеді.

Нөлдеу дегеніміз, кернеу астында қалуы мүмкін болған электр қондырғысының металды бөліктерін қорғаныстық нөлдік сыммен қосуды айтамыз.

Жасанды жерге қосқыш деп, арнайы жерлендіру мақсатымен жасалған жерге қосқышты айтады. Табиғи жерге қосқыш ретінде ғимараттардың, коммуникацияның жерге көмілген ток өткізетін бөліктерін, су және басқа құбырларын, кабельдің қорғасын қабатын пайдалануға болады.

Жерлендірудің немесе нөлдеудің магистралі дегеніміз оларға сәйкес екі немесе бірнеше тармақты жерлендіргіш немесе нөлдік қорғаныстық сым.

Жерге қосатын сым деп жермен қосылатын бөлікті жерге қосқышпен байланыстыратын сымды айтады. Электр қондырғысының қорғаныстық сымы адамдар мен жануарларды электр тогына түсіп қалудан қорғайды. 1кВ дейінгі электр қондырғысында трансформатордың немесе генератордың терең жерге қосылған бейтараптамасымен жалған қорғаныстық сым нөлдік қорғаныстық сым деп атайды. 1кВ дейінгі электр қондырғыларында нөлдік жұмыстық сым дегеніміз электр берілісін қоректендіретін және үшфазалы тораптардағы трансформаторлардың немесе генератордың терең жерге қосылған бейтараптамасымен, бірфазалы ток көзінің терең жерге қосылған шығысымен, үш сымды тораптағы тұрақты токтың терең жерге қосылған нүктесімен жалғанған сымды айтады.

6.6. Электр энергиясының сапасы

Электрэнергетика товар болғандықтан оның бірқатар ерекшеліктері бар. Ол өнімнің басқа түрлерін шығаруда қолданылатындықтан олардың сапасына, өндірістің тиімділігіне әсері зор. «Электр энергиясының сапасы» деген түсінік жалпы басқа товарлардың сапасы деген түсініктен өзгеше. Электрэнергиясының сапасы электрқабылдағыш (ЭҚ) жұмысының сапасы арқылы бағаланады. Сондықтан, егер ЭҚ дұрыс жұмыс жасамай жатса оның жасалуына сапасын тексеру қажет, ал егер электр энергиясының сапасы төмен болса, онда электржабдықтаушы ұйымдарына шағым жасалуына қажет.

Электрэнергиясымен жабдықтау жүйесінде электр энергиясы берілген талаптарға сай келмеуі мүмкін, бұл жағдайда ол электр энергиясының сапасының көрсеткішімен (ЭЭСК) анықталады.

Электр желісіне қосылған электр аппараттары мен аспаптарға, электржабдықтарына тигізер әсерін анықтайтын электр энергиясының сапа көрсеткіштері деп аталатын жиілік пен кернеу бойынша, энергия сипаттамаларының жиынтығын – электр энергиясының сапасы (ЭЭС) деп атайды.

Электр энергиясының сапасы – электромагниттік ортаны сипаттайтын, электромагниттік сыйысушылықтың (ЭМС) бір құрамы. Бұл сыйысушылық тек қана электрлік аспаптар, аппараттар, жабдықтардың электромагниттік ортамен өзара әрекеттігін ғана емес, сонымен бірге осы техникалық құралдардың өзара бір-бірімен әрекеттіліктерін де электр энергиясының сапасы ЭМС барлық жағын қарастырғанмен, негізінен ол тек электр желісін ғана сипаттайды. Оған арналған ЭМС деңгейін электр энергиясының сапа көрсеткіші (ЭСК) деп атайды. ЭЭС нақты мәні арнайы аспаптар арқылы бақыланып отыруы қажет.

ЭСС 11 түрі МЕСТ 13109-97 нормативтік құжатпен белгіленген және олар шартты түрде үш топқа бөлінген. Бірінші топқа электрэнергиясын өндіру және беру технологиялық процесімен байланысты болатын кернеу мен жиілікті үзіп тастауды жатқызуға болады. Жиілік пен кернеуді ажыратуды реттеудің сапасы олардың электрэнергетика жүйесіндегі деңгейін анықтайды. Екінші топқа кернеу қисығы формасының бейсинусоилдылығын, кернеудің бейсимметриялығы мен тербелісін сипаттайтын ЭЭСК жатқызуға болады. Бұл бұрмаланулардың (эмитенттердің) негізгі көзі – электрқабылдағыштар. Үшінші топқа электрэнергиясын өндіру, беру және тұтыну технологиялық процестеріне байланысты емес, кездейсоқ электромагниттік құбылыстар мен электртехникалық процестерді сипаттайтын ЭЭСК жатқызуға болады. Оған көптеген жағдайда электржабдықтарын коммутациялау немесе электр беру желісіндегі найзағай разряды

кезінде туындайтын кернеудің құлауы, кернеудің күшеюінің пайда болуы және кернеу импульстары жатады.

Жиіліктің ауытқуы. Жиілік f ЭЭЖ режимінің жалпы жүйелік параметрі және *активті қуат балансымен* анықталады. Генерирленетін қуаттың дефициті болғанда жүйедегі жиіліктің мәні төмендейді де генерирлеу және тұтыну қуаттарының жаңа балансы белгіленеді. Генерирленетін қуат мол болса, керісінше жиілік жоғарылайды.

Электрэнергетикалық жүйеде айнымалы ток жиілігі электрстанция генераторының айналу жиілігімен анықталады. Жиіліктің номинал мәні 50 Гц (кейбір елдерде 60Гц). Уақыттың әрбір сәтінде ЭЭЖ-де электрстанция генераторы қуаты мен тұтынушы жүктеме қуаты арасында теңдік пен баланс қамтамасыз етіліп отыруы қажет. ЭЭЖ жиілікті реттеу тек электрстанцияда активті қуат резерві бар болған кезде ғана мүмкін.

Кернеудің ауытқуы. Электрэнергетикалық жүйе тораптарындағы кернеу әртүрлі болуы мүмкін және де осы тораптардағы *реактивті қуат балансымен* анықталады. Желінің берілген нүктесіндегі U_0 орныққан кернеу мәнінің оның $U_{ном}$ номинал мәнінен айырмашылығы ΔU_0 кернеудің ауытқуымен сипатталады.

Қазіргі ЭЭЖ әртүрлі номинал кернеулі желілердің үлкен ұзындығымен және көпсатылы трансформацияларымен сипатталады. Сондықтан электрэнергияны оның алу көзінен қабылдағышқа дейін арнайы кернеуді реттеуші құралдар көмегімен жеткізу мүмкін емес, себебі бұл аралықта кернеудің жиынтық шығыны өте көп болады.

Таратушы электр желілерінде кернеудің ауытқуы, әдетте, ерекше нүктелерде анықталады. Олар – трансформациялық коэффициентін жүктеме астында тұрған кезде реттеуге болатын трансформаторлармен жабдықталған, коректендіру орталықтарынан (ҚО) қашықтатылған нүктелер.

МЕСТ 13109-97 бойынша электрқабылдағыштар выводтарындағы кернеудің ауытқуына норма белгіленген:

Нормалы мәндері үшін $\Delta U_{\text{нор}} = \pm 5 \%$ және шекті мүмкін мәндері үшін $\Delta U_{\text{шек}} = \pm 10 \%$.

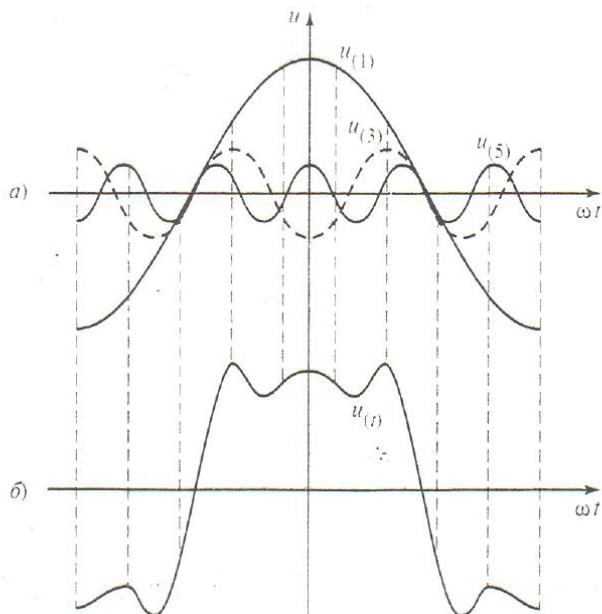
Кернеудің тербілісі. Кернеудің ауытқуы графигі бойынша анықталатын жүктеменің баяу өзгерісінен пайда болса, ол жүктеменің жылдам өзгерісі кернеудің тербелмелілігін туғызады.

Кернеу тербелмелілігі *қарқынымен* (тербелу шегі) және *кернеу өзгерісі қайталануының жиілігімен* немесе *кернеу өзгерістері арасындағы интервалмен* сипатталады. Оның тағы да бір сипаттамасы *фликер дозасы*. Электрэнергиясының сапа көрсеткішін енгізу, осы құбылыстың адам көзіне деген әсеріне сәйкес қажет болды. Фликердің кумулятивті жинақтаушы әсері бар. Оның әсері тербеліс қарқынымен оның қайталану жиілігі өскен сайын күшейеді.

Тік бұрышты формадағы тербеліс туғызатын фликерді көзбен қабылдау процесі жиіліктің $0 < f < 35$ Гц және номинал кернеудің $0 < \Delta U < 10\%$ аралығында жатады.

ЭЭЖ кернеудің тербелмелілігінің көзі ретінде активті және реактивті қуаттарды күртайнымалы сипатта тұтынатын қуатты электртұтынушылар болып есептеледі. Оларға доғалық болат қорыту пештерді, кен-термиялық пештерді, үлкен қуатты электрқозғалтқыштарын (прокат стандартындағыдай), индукциялы пештерді, контактілік дәнекерлеу машиналарын, электролизді құрылғылар түрлендіргіштерін жатқызуға болады. Мысалы, 35 кВкернеулі ДСП-100 доғалық печь жұмыс істеген кезде желідегі тербеліс қарқыны $\cos\varphi = 0,1 - 0,3$ болғанда 4,3–8,2 % жетеді. Бұл кездегі кернеу тербелісінің жиілігі 8,3 Гц құрайды.

Кернеудің бейсинусоиддылығы. Электр желісіндегі жүктемелердің көп бөлігінің вольт-амперлік сипаттамалары бейсызықты болып келеді. Мұндай ЭА тұтынатын токтың түрі синусоидалықтан көп өзгеше. Қисық түрінің синусоидадан бұрмалануын және оның гармоникалық құрамын 6.4-суретінен көруге болады.



6.4-сурет. $U_{(1)}$ кернеу қисығының синусоидадан бұрмалануы:

а – кернеудің 1, 3, 5 гармоникалары;

б – $U(t) = U_{(1)}(t) + U_{(3)}(t) + U_{(5)}(t)$ бұрмаланған синусоида

Мұндай бейсинусоидальды ток t уақыт ағымында периодты түрде $f=50$ Гц желілік жиілікпен өзгеріп отырады. Бұл жиілікке $\omega=2\pi f = 314$ рад/с бұрыштық жиілік сәйкес келеді. Математикадан белгілі әдіс (Фурье қатарына түзу) арқылы бейсинусоидальды токты әр бөлігінің өз жиілігі бар және негізгі бөлігіне еселі синусоидальды токтар жиынтығымен көрсетуге болады. Бұл бөліктерді гармониктер деп атайды. Олай болса, токты мына өрнекпен анықтауға болады:

$$i(\omega t) = I_1 \sin \omega t + I_2 \sin 2\omega t + I_3 \sin 3\omega t + \dots + I_n \sin n\omega t,$$

мұндағы I_n – гармониктер амплитудасы;

n – гармоникалар реті.

Бұл токтар желі элементтерінде (сымдарда, трансформаторларда) кернеудің төмендеуін туғызады. Нәтижесінде элементтің токқа қосылған нүктелеріндегі кернеу қоректену көзіндегіден біршама өзгеше болады. Кернеудің бұл төмендеген мәні әрбір гармоника үшін жеке-жеке болып, олардың жиынтығы берілген нүктедегі бейсинусоидальды кернеуді құрайды:

$$U(t) = U_{\text{көз}} \sin \omega t + \Delta U_{(1)} \sin \omega t + \Delta U_{(2)} 2 \sin \omega t + \dots + \Delta U_n \sin n \omega t$$

Яғни, нәтижесіндегі $U(t)$ кернеу қисығы 1-ші ретті $U_{(1)}$ (50 Гц жиілікті негізгі) және жиіліктері сәйкесінше 3 және 5 есе негізгіден үлкен 3-ші $-U_{(3)}$ және 5-ші $-U_{(5)}$ гармоникалардан құралады.

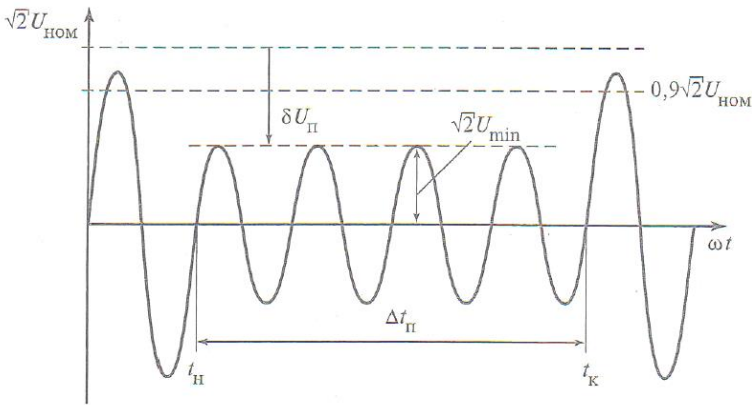
Негізгі гармоника жиілігі (50 Гц) белгілі бір ауқымда өзгеріп тұратындықтан n -ші гармониканың жиілігі де өзгеріп тұрады. Сондықтан гармоникалар жиілік бойынша емес, негізгі жиілікке еселікті көрсететін – реттік пен сипатталады.

ЭЭЖ гармоникалардың бұрмалануының көзі тек қана түрлендіргіштер емес, сонымен бірге бейсызқты сипаттамалары бар көптеген электрқабылдағыштар бола алады.

Кернеудің бейсимметриялылығы. Үшфазалы желінің бір немесе екі фазасы арқылы қоректенетін электрқабылдағыштар (ЭҚ) жүктеменің бейсимметриялығын түзеді. Мұндай ЭҚ типті түріне тұрмыстық аппараттар мен жарықтандыруды жатқызуға болады. Өнеркәсіпте ол – дәнекерлеу жабдықтары, индукционды пештер, теміржол транспортындағы күштік қосалқы станциялар және т.с.с.

Үшфазалыжүйе электржабдықтау элементтеріндегі жүктеменің бейсимметриялығы, олардағы ток пен кернеудің де бейсимметриялы болуын туғызады. Бұл өте қауіпті, себебі бұл кезде бір фазадағы кернеу өте аз болып, ал екінші бір фазада өте үлкен болуы мүмкін. Осыған сәйкес іс жүзіндегі жүктемені симметриялау, яғни әрбір үш фазадағы кернеулерді теңестіру әдістері қолданылады. Бұл әдістің ең оңай түрі – үшфазалы жалғанған желілерде нөлдік, яғни нейтраль өткізгішті пайдалану.

Кернеудің түсуі (құлауы). Кернеудің құлауына (түсуіне) электр желісі нүктесіндегі кернеудің кездейсоқ күрт төмендеп кетуі (10% $U_{\text{ном}}$ -дан жоғары) жатады. Бұл құлаудан кейінгі бірнеше период немесе бірнеше секунд аралығында кернеуді қалпына келтіру қажет (6.5-сурет).



6.5-сурет. Кернеудің $\delta U_{\text{п}}$ тереңдікке және $\Delta t_{\text{п}}$ ұзақтыққа құлауы

Кез келген желіде болуы мүмкін кернеудің құлауын электржабдықтаудың сенімділігін сипаттауға берілетін баға деп те айтуға болады. Құлаудың алғашқы себебі найзағай әрекеті. Ол электр сымына немесе таратушы құрылғының шиналарына түскенде электржабдықтау жүйесіндегі қорғау және автоматика құралдары дереу іске қосылады. Кернеудің түсіп кетуі оперативті қызметкерлердің қателігінен немесе қорғау мен автоматика құралдарының жалған іске қосылып кетуінен де болуы мүмкін.

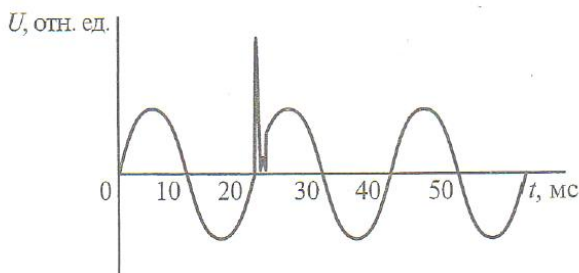
Кернеудің уақытша күшеюі. Кернеудің уақытша күшеюі – электржабдықтау жүйесіндегі электр желісі нүктесіндегі кернеудің 10 мс-тен көп уақытта 1,1 $U_{\text{ном}}$ -дан артық мәнге дейін жоғарылап кетуі. Оның болу себебіне жүктемесіз электрберу желісін, конденсаторлық батареяларды немесе аз жүктемеленген трансформаторларды коммутациялауды, үлкен жүктемелерді қосу мен ажыратуды жатқызуға болады.

Кернеудің күшеюі, әсіресе ол ұзаққа созылса, адамдар және электржабдықтар үшін қауіпті. Ұзаққа созылатын кернеудің күшеюі жоғары сиымдылықты өткізгіштігі бар желілерде, нейтраль өткізгіші үзілген төртөткізгіштік желілерде болады.

Импульстік кернеу. Ол найзағайлық құбылыстар мен электржабдықтау жүйелеріндегі коммутациялау кезіндегі өтпелі процестерден туындайды. Осыған байланысты найзағайлық және коммутациялық кернеу импульстары деп бөледі. Олар бір-бірінен сипаттамалары мен формалары бойынша өзгешелінеді.

Импульстік кернеу – электр желісі нүктесіндегі кернеудің күрт өзгеруі. Ол туындағаннан кейінгі бірнеше миллисекунд аралығында оны өзінің бастапқы қалпына немесе соған жақындатылған қалыпқа қайта алып келу қажет.

Импульстік кернеудің осциллограммасы 6.6-суретте келтірілген.



6.6-сурет. Импульстік кернеудің осциллограммасы

Найзағайлық импульстер – өте кең тараған құбылыс. Жер бетінде бір сәтте секундына жай түсудің 100 разрядын туғызатын, 2000 найзағай жарқылдауы өтеді. Еуропада жылдың орташа 15-тен 35-ке дейінгі күнінде найзағай жарқылын байқауға болады, ал 1 км²ге түсетін жай саны – бір жылда 1-ден 5-ке дейін. Жай жоғары және төмен кернеулі кабельдермен, басқару және байланыс сымдарымен жалғанған ғимараттар мен қосалқы станциялардың жайдан сақтау құрылғыларына түседі.

Жай түскен жерлендіру құрылғыларының алыстағы (салыстырмамен) нүктесіндегі потенциал миллион вольтқа дейін

өседі. Кабель мен ауалық байланыс құрған «тұзақта» ондаған вольттан бірнеше жүздеген киловольтқа дейін кернеу индуктирленеді. Ауалық сымдарға жай түссе оның бойында кернеу құлауы толқыны пайда болып, қосалқы станциялардың құрама шиналарына жетеді. Бұл кернеу құламасы оқшауландырғыштардың беріктігімен шектеледі.

Найзағай бойындағы өлшенген тоқтың күші 200-ден 300 кА, бірақ бұл өте сирек құбылыс. Жалпы бұл тоқтың күші 30-35 кА.

Коммутациялық кернеу импульстары индуктивтік (трансформаторлар, электрқозғалтқыштар) және сиымдылық (конденсаторлық батареялар, кабельдер) жүктемелерді коммутациялау кезінде туындайды. Ол қысқаша тұйықтау аппараттарын айыру кезінде де пайда болады.

Электрэнергиясының сапасын қамтамасыз етуді техникалық тұрғыдан қарастырғанда арнайы талаптар орындалуы керек, яғни энергиямен жабдықтаушы ұйымдарда активті қуат резерві, кернеуді реттеу құрылғылары, белгіленген шартқа сәйкес жабдықтар болулары қажет, сонымен бірге бұл ұйым системалы түрде энергия сапасын бақылауды жүргізіп отыруы да қойылатын талаптың бірі.

Бақылау сұрақтары:

1. Энергетикалық жүйе құрамына қандай элементтер кіреді?
2. «Энергетикалық жүйе» мен «Электрэнергетикалық жүйе» түсініктерінің айырмашылығы не?
3. Үшфазалы айнаымалы ток электр жүйесіндегі номинал кернеулерді атап шығыңыз.
4. Электр желілірінің классификациясын айырып беріңіз.
5. Электр энергияны тұтынушы негізгі топтарды және оларға тән электрқабылдағыштардың құрамын атап беріңіз.
6. 0,38–20 кВ ауа және кабельдік желілерді пайдалану аймақтарын атап өтіңіз.

7. КІШІ ЭНЕРГЕТИКА

7.1. Кіші энергетика потенциалы

«Кіші энергетикаға» (small energetics) тұтынушыларға локальды, яғни жақын орналасқан энергия шығарушы қондырғылар жатады. Олар ЖЭО (бұл орталықтарды батыста когенерирлеуші (cogeneration plants) қондырғылар деп атайды), кіші және микроГЭС, күн мен жел энергияларын түрлендіруші қондырғылар, сонымен қатар жеке және жекеменшік үйлер үшін салынған кіші электрстанциялар. Кейбір елдерде, мысалы кіші энергетика өнеркәсіптеріне жеңілдік (льгота) беретін Австрияда, кіші станциялардың белгіленген қуаттары мөлшеріне 2,4 немесе 10 МВт шамасында лимит қойылады.

Энергетиканы бірнеше түрге бөлгенде, кіші энергетикаға кәдімгі электрстанцияларынан тек масштабымен ғана ерекшеленетін кішігірім станцияны жатқызғандықтан бұл бөлімде кіші және микроГЭС, кіші ЖЭО мен кішіАЭС, сонымен қатар кіші электрстанциялардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін станциялардың қайсыбір комбинациясын қолдану мысалдарын қарастырамыз.

Ресей стандарттарына сәйкес, электрэнергетикада кіші электрстанциялар қатарына қуаты 30 МВт бірлік қуаты 10 МВт болатын агрегаттары бар электрстанциялар жатады.

Кіші электрстанциялар қуаттарына сәйкес үш топқа бөлінеді:

- микроэлектрстанциялар – қуаты 100 кВт дейін;
- миниэлектрстанциялар – 100 кВт-тан 1 МВт дейін;
- кіші электрстанциялар – 1 МВт тан жоғары қуаттары бар.

Жылу энергетикасында кіші станциялар қатарына бірлік қуаты 5 Гкал/с дейінгі қазандар, өнімділігі 20 Гкал/с дейінгі котельныйлар мен жылыту қондырғылары жатады.

Қазақстандағы кіші энергетика негізін бүгінде жүздеген әртүрлі (көбінесе дизельді) бірлік қуаты 340 кВт және жиынтық жалпы қуаты 1,7 млн кВт (Қазақстандағы жалпы белгіленген қуаттың 3 %), 20 млрд. кВт·с электр энергиясын шығаратын және шамамен жылына 1,7 млн т.ш.о пайдаланатын электрстанциялар құрайды.

Отын энергетикалық баланста кіші энергетикаға шығарылатын электрэнергияның 10 % және жылудың 20 % тиесілі.

Территориясы 2725 мың м² Қазақстанда кіші энергетиканы дамытудың өзектілігі бірқатар факторлармен анықталады:

- 14 облыстар, ондаған қалалар, жүздеген қала типті поселкелер және мыңдаған кішігірім ауылдар орналасқан 70 % территориясы децентрализован электр энергияны аймақтарын құрайды. Бұл аудандарды энергиямен қамтамасыз ету проблемасын шешу, оның күрделі экономикалық және технологиялық проблема екендігін көрсетеді. Әсіресе бұл проблема алыста орналасқан ауылдар мен ауылшаруашылық өндірістер үшін өте күрделі. Оларға отын тек жазғы күндері ғана арзан бағамен жеткізіледі, ал қыста, ол отындардың бағасы күрт жоғарылайды, көп жағдайда отынды жеткізу мүмкін болмай да қалады;

- кіші қуатты энергоқұрылыстарды салғандағы жұмсалатын капиталдық шығын аса көп емес;

- газотурбиналық қондырғылардың қысқа мерзімде (0,5–2 жыл) салынуы, тиімділігінің жоғарылығы және шыққан шығынның жылдам қайтарылуы (2–3 жылда);

- ұзын ЭБЖ (ЛЭП) тұрғызу қажеттілігінің жоқтығы. Бытыраңқы орналасқан кіші энергетикаға көңіл бөлу, электр беру желілері мен құбырлы периферияны тұрғызу мен қалпында ұстап тұру шығынының көлемін күрт қысқартады;

- ЖЭК (жел, күн, су энергиялары) пайдаланатын энергоқондырғылармен бірге гибриді энергия көздерін салу мүмкіндігінің болуы.

- Кіші энергетиканың қазіргі уақытта қамтамасыз етіп отырғаны:

- ЛЭП магистральдарынан қашық орналасқан халық шаруашылығымен мемлекеттік құрылымдардың көптеген салаларын ең алдымен мұнай және металлургия комплекстерінің, сонымен қатар ағаш өңдеу өнеркәсіптерінің мүдделері;

- көптеген қалалық және ауылдық инфраструктуралар;

- әртүрлі мақсаттағы байланыс және коммуникация объектілері;

- пайдалы қазбаларды барлау және қазып алу, транспорт, орман және ауылшаруашылық өнеркәсіптері объектілері;
- күштік ведомстволар объектілері және т.б. с.с.

Елімізді энергиямен қамтамасыз етуде кіші энергетиканың рөлін негізінен екі фактормен белгілеуге болады.

Энергожабдықтаудың орталықтандырылған аймағында кіші энергетиканың рөлі негізінен қиын-қыстау (критический) және төтенше жағдайларда энергияны локальды деңгейде резервтеу. Атап айтқанда, орталықтандырылған энергияжабдықтау жүйелеріндегі апат кезінде үзіліссіз жұмыс істейтін өнеркәсіптік өндірістерді, өмірге өте қажетті объектілерді (медициналық және балалар мекемелері, байланыс, транспорт, теле және радиохабарлағыш станциялар) энергиямен қамтамасыз ету. Орталықтандырылмаған энергожабдықтау аймақтарындағы энергетикалық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде кіші энергетиканың орны зор.

Автоном электрстанциялары мен кіші қуатты котельныйлар қауіпті және төтенше жағдайларда минимал гарантирленген көлемде, жұмыс істеу режимдерін толығымен қамтамасыз етулері қажет.

Кіші энергияның жағдайы оның сенімділігімен (үзіліссіз энергиямен жабдықтау), энергетикалық және экономикалық тиімділігімен анықталады. Орталықтандырылмаған аймақтардағы сенімділік негізінен отынмен қамтамасыз етілгендігімен, жабдықтардың ескіруімен, жөндеу базалары мен мамандандырылған кадрлардың болуымен бағаланады.

Отынның, тасымалдау шығынының күрт қымбаттауы, сонымен бірге ЖЭК негізіндегі қондырғыларды жасаудағы прогресс болашақта гибридті қондырғыларды қолданудың экономикалық орындылық мүмкіншілігін едәуір кеңейтті: дизельді және жел энергоқондырғылары (ЖЭК); дизельді энергоқондырғылары мен кіші ГЭС және т.с.с. Егер оған кеткен шығын көлемі экономдалған отын мен дизель электрқондырғылар ресурсының бағасынан аз болса, осындай гибридті энергоқондырғыларды жасау экономикалық тұрғыдан қарағанда пайдалы.

Кіші энергетикадағы қолданылатын энергия көздері:

– жанатын отындар негізіндегі қондырғылар – дизельді және бензинді қондырғылар, ГТҚ мен БГҚ;
– кіші және микро ГЭС;
– ЖЭҚ, геотермалды, фотоэлектрлік, тасу-қайту энергоқондырғылар, сонымен бірге гибриді жүйелер деп аталатын олардың әртүрлі үйлесімдері.

Ресей мен Қазақстанда соңғы он жылдарда кіші энергетиканың сенімділігі отынмен жабдықтау проблемалары, жабдыктардың ескіруі, ремонттық базаның әлсіреуі және саладан маман кадрлардың кетуі салдарынан біршама төмендеп кетті.

Соңғы жылдардағы кіші энергетика жүйелерімен энергожабдықтаудың сенімділігінің төмендеп кетуінің бір басты себебі – отындардың және оны тасып алып келу шығындары құнының өсуі салдарынан алыстағы ауылдарды отынмен қамтамасыз етудегі іркілістер және жергілікті бюджеттегі қаржының тапшылығы.

Екінші себеп – негізгі өнеркәсіптік фондының прогрессивті ескіруі, энергетикалық жабдыктардың жұмыстық күйден түгелдей шығып қалу қауіптілігі және ресурстардың бітуі.

Кең тараған п.ә.к. 40 % жақын дизельді және бензинді энергоқондырылғылы кіші энергетиканың келешегі, п.ә.к. 55–60 % жететін ГТҚ мен БГҚ алмастырумен байланысты. Бірақ бұл үшін мемлекет тарапынан үлкен инвестиция қажет. Кіші энергетиканың инновациялық дамуының маңызды аргументі ретінде, салыстырмалы (үлкен энергетикаға қарағанда) аздаған инвестиция мен кеткен шығындарды ақтаудың қысқа мерзімділігін атап өтуге болады.

Қазақстанда кіші энергетика саласын дамытуды тез және ойдағыдай өткізу және кеңінен пайдалану үшін бірқатар қажетті шарттар орындалуы қажет:

– жеке аймақтардағы және бүкіл республика бойынша кіші энергетиканың дамуын бір-бірімен үйлестіріп отыратын, мемлекеттік және аймақтық ұйымдарды құру;
– нормативті-праволық базаны жасау және қабылдау;
– кіші және дәстүрлі емес энергетика жөнінде, сондай-ақ ірі энергетикалық программалық жобаларды қарау және бағалау үшін тәуелсіз эксперттік комиссияны құру;

- кіші энергетика негізінде энергиямен жабдықтаудың бүгінгі күнгі жағдайы мен болашағына бірінші кезекте, алыстағы энергия жетіспейтін аудандарға комплекстік зерттеулер жүргізу;

- жоғарытиімді кіші энергетиканың тез дамуын қамтамасыз ететін, аймақтық программаларды жасау;

- жаңа әлеуметтік, экономикалық және саясаттық жағдайда еліміздің энергия қауіпсіздігін қамтамасыз ету мен кіші энергетиканы дамыту мақсатында, экономикалық және ұйымдастырушылық механизмдерін жасау және іске асыру;

- жаңа энергетикалық техниканы, технологияны (налогтық жеңілдік, кредит жеңілдігі, икемді тариф т.с.с.) жасайтын, өндіретін, тапсырыс беретін, іс жүзіне ендіретіндерді заңды жолмен ынталандыратын жүйені құру;

- энергия өндірушілердің отандық және шетелдік нарығындағы ұсыныстарын есепке ала отыра, кіші энергетиканың бизнес-жоспарын, дұрыс техника-экономикалық негіздеуін дайындауды, жобалау алдындағы зерттеулерді тездету және ұйымдастыру;

- еліміздің кіші энергетикасын техникалық қайта жабдықтау программасын толығымен іске асыру үшін өтімді инвестициялық механизмдерді жасау;

- кіші энергетика объектілерін жасау, енгізу және пайдалану үшін өмірге төзімді техникалық, жобалау, зерттеу, құрылыс-монтаж және жөндеу базаларын құру;

- қазіргі технологиямен перспективті энергия көздері негізінде кіші энергетика жүйесін жобалау, тұрғызу және пайдалану үшін кең профильді (электротехникалық және жылутехникалық) мамандар дайындау жүйесін ұйымдастыру.

7.2. Кіші гидроэлектрстанциялар

Гидроэлектрстанция – экология жағынан тазалыққа үміткер энергия өндіру көзінің бірі. XX ғасырдың басында әлемдегі кең жазықтықтағы өзендер мен таулы өзендер энергетиктердің назарына түсті, ал ғасырдың соңына қарай олардың көбінде электр энергиясын беретін каскадты ГЭС плотиналары салынды.

Бірақ бұл табиғат пен ауылшаруашылығына едәуір зиян келтірді: плотинадан жоғары жатқан өңір суға батты, ал төмен жағында жер астындағы сулар тартылып қалды; ауылшаруашылық айналымындағы едәуір жер көлемі жоғалды, өзендердің табиғи ағысы үзіліп, кей жағдайларда су қоймаларындағы су шіріп, ондағы балық қоры азайды. Тау өзендеріндегі станцияларда бұл минустар саны минимум болғанымен, жерсілкінісі болған кездегі плотина жарылуына сәйкес мүмкін болатын мыңдаған адамдар өмірінің қиылу қаупі қосылды. Міне осы себептерден ірі ГЭС-терді экология жағынан аса таза деп айтуға болмайды.

Ірі ГЭС осы кемшіліктері аса үлкен емес өзендерде, тіпті кейбір бұлақтарда орналастыруға болатын мини- және микро ГЭС салу идеясын туғызды, ал олардың гидроагрегаттары су деңгейінің үлкен емес құламасында, тіпті тек ағыс күшімен де жұмыс істей алады. Мұндай мини-ГЭС жылдам ағысты үлкен өзендерде де плотина тұрғызбай-ақ салуға болады.

Ресейде қабылданған стандартқа сәйкес («Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения» ГОСТ Р 51238-98), гидростанциялардың төмендегідей классификациясы бар.

Жеке қуаты 0–100 кВт агрегаттар – микроГЭС, жеке қуаты 100 кВт – 5 МВт агрегаттар – кіші ГЭС. Бұл жағдайда жиынтық белгіленген қуаты 100 кВт дейінгі станциялар – микроГЭС, ал 100 кВт-тан 30 МВт қуатты станциялар кіші ГЭС қатарына жатады.

Әлемдегі гидроэнергетиканың экономикалық потенциалы 8100 млрд кВт болып бағаланады, ал жалпы ГЭС потенциалы – 10 % жуық.

Кіші гидроэнергетика дамуындағы көпшілік таныған (мойындаған) лидер – Қытай. Онда кіші ГЭС тұрғызу өте қарқынды өтуде. «Синьхуа» информациялық агенттігінің 2009 ж. қаңтарындағы мәліметіне қарағанда, Қытай ауылдарында салынған ГЭС жалпы қуаты 2008 ж. 50 млн кВт болып электрэнергиясын шығару 150 млрд кВт с жеткен. Соныменен, ауылдардағы кіші ГЭС мемлекеттің елді электрэнергетикамен жабдықтау жүйесінде маңызды орын алған.

Үндістанда да кіші ГЭС тұрғызу кең көлемде өтуде. Бүгінгі таңда пайдалануға берілген кіші ГЭС белгіленген қуаты 200 МВт асады, тағы 4 мың мини – ГЭС тұрғызу жоспары белгіленген.

Екінші дүниежүзілік соғысқа дейін 6800 кіші ГЭС жұмыс істеген Польшада да кіші өзендер энергиясын пайдалану дәстүрі жақсы сақталған. Австрия, Финляндия, Норвегия, Швейцария елдерінде кіші ГЭС тұрғызу кеңінен орын алған. Еуропалық одақ (ЕО) елдеріндегі кіші гидроэнергетиканың жаңғыру мен даму мәселелерін, жаңғыртылатын энергия жөніндегі Еуропалық комиссия мен Еуропалық кіші гидроэнергетика ассоциациясы координациялайды (үйлестіреді). Олар «Жаңғыртылатын энергия жөніндегі директивалар» жасап қабылдады. Бұл директива бойынша Еуропа елдерінде кіші энергетикасы алдына 14 ГВт белгіленген қуатқа жету амбициозды мақсаты қойылған.

Жалпы жоспарда, ішкі рынокқа әсер ету, Еуропа елдерінде жаңғыртылатын энергияны қолдау саясатын күшейту және ЕО мүше елдердің бұл бағыттағы іс-қимылдарын үйлестіру шаралары қарастырылған. Бұл тұрғыда қаржыландыру проблемасы көңіл аудартады. Кіші гидроэнергетика саласындағы қайсыбір финанстық схема 7.1-кестеде келтірілген.

ЕО елдерінің даму деңгейі әртүрлі болғандықтан кейбір жағдайларда, оларды екі топқа бөлу көзделген: ЕО – 15 (ЕО бұрыннан бергі мүшелері) және ЕО – 10 (ЕО жаңадан қосылған елдер және ЕО мүшелігіне кандидат елдер). 7.2 мен 7.3-кестелерінде ЕС-15 пен ЕС-10 елдеріндегі кіші энергетиканың жағдайы келтірілген.

7.1-кесте

Кейбір ЕО елдеріндегі кіші гидроэнергетиканы қаржыландыру схемасы

Ел	Қаржыландыру схемасы	Меншік
Австрия	Корпоративті қаржылар	Кіші және үлкен электржелілері
Германия	Жекеменшіктік қаржы	Жекеменшік
	Үлестік қаржы	Жауапкершілігі шектеулі қоғам
		Муниципалитеттер

7.1-кестенің жалғасы

Испания	Шеттен келген қаржы	Үкіметтік ұйымдар арқылы
Италия	Корпоративті қаржылар	Жекеменшік инвестор
	Шеттен келген қаржы	Жергілікті электржелілері
Нидерланды	Жекеменшіктік қаржы	Жекеменшік
	Корпоративті қаржылар	Электржелілері
Швеция	Жекеменшіктік қаржы	Серіктестік
	Корпоративті қаржылар	Жекеменшік
		Корпорации

7.2- кесте

ЕО 15 елдеріндегі кіші гидроэнергетиканың белгіленген қуаты және электроэнергияны кіші ГЭС арқылы өндіру

Ел	Агрегаттар саны	Кіші ГЭС қуаты, МВт	ЕО-тағы жалпы қуаттағы кіші ГЭС үлесі, %	ГЭС-тағы жалпы қуаттың кіші ГЭС үлесі, %	Кіші ГЭС-тың электроэнергиясын өндіру, ТВт·сағ
Бельгия	82	96	0,61	6,86	385
Дания	40	11	0,09	100	30
Германия	6200	1500	1,27	16,67	6500
Греция	40	69	0,63	2,30	350
Испания	1106	1607	3,06	9,08	4825
Франция	1730	2000	1,73	7,81	7500
Ирландия	45	23	0,48	4,51	96
Италия	1510	2229	3,12	10,98	8320
Люксембург	29	39	3,25	3,55	195
Нидерланды	3	2	0,01	2,22	1
Австрия	1700	866	4,89	7,53	4246
Португалия	74	286	2,62	6,36	1100
Финляндия	204	320	1,96	11,03	1280
Швеция	1615	1050	3,20	6,40	4600
Великобритания	110	162	0,21	3,77	840
Барлығы	14488	10 260	1,77	8,67	40268

7.3-кесте

ЕО елдеріндегі кіші гидроэнергетиканың белгіленген қуаты және кіші ГЭС өндіретін
электроэнергиясы

Ел	Кіші ГЭС саны	Белгіленген қуат, МВт	ЭЭ өндіру, ГВт·сағ	Барлық ГЭС өндірісіндегі үлесі, %	Барлық электр энергиясының өндірудегі үлесі, %	Потенциалды қуат, МВт		Потенциалды орта жылдық өндіріс, ГВт·сағ	
						Модерленген	Жаңа құрылыстар	Модерленген	Жаңа құрылыстар
Кипр	1	0,5	—	0	0	—	1	—	0,002
Чехия	1136	250	677	32,3	1,0	10	200	50	1148
Эстония	13	3,0	10	100	0,1	2	2	6	6
Венгрия	35	8,6	38	25,4	0,1	2	22	9	90
Латвия	57	1,7	14	0,5	0,3	36	60	90	150
Литва	29	9,3	30	3,6	0,2	3	40	11	186
Мальта	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Польша	472	127	705	31,0	0,5	—	320	—	1600
Словакия	180	31	175	3,8	0,7	23	37	120	78
Словения	413	77	270	7,6	2,3	10	180	50	780
Болгария	64	141	412	22,3	1,0	—	—	—	—
Румыния	9	44	287	1,8	0,5	—	—	—	—
Түркия	67	138	500	1,7	0,4	—	—	—	—

2000 жылы ЕО – 15 елдерінде 14 488 кіші ГЭС пайдаланыста болды, олардың ішінде Германияда (42,8 %), Францияда (11,9 %), Австрияда (11,7 %), Швецияда (11,1 %) және Италияда (10,4 %). Бұл станциялардың 45 % 60 жылдан астам, ал 68 % – 40 жылдан астам уақыт мерзімінде жұмыс істеп тұр. Еуропада 2000 ж. жалпы белгіленген қуат 10 ГВт болғанда кіші ГЭС орташа қуаты 700 кВт жақын болды, яғни гидроэнергетиканың жалпы қуатының 9 % немесе электргенерациялаудың жалпы белгіленген қуатының 2 % дейінгі бөлігін құрады (кіші гидроэнергетика Еуропалық ассоциациясы, электрді өндіру және жабдықтау Еуропалық комиссия мен Халықаралық одақтар анықтауына сәйкес, кіші ГЭС қатарына қуаты 100 МВт дейінгі станциялар жатады).

Қазіргі кезде кіші гидроэнергетика бойынша Еуропа көш бастап отыр және олар бүгінгі күн талабына сай ең озық технологиялармен жұмыс істеуде. Сондықтан технологияларды Еуропадан тыс елдерге экспорттауға мүмкіндік зор. Гидроэнергетиканы пайдалануда Азия елдері, әсіресе Қытай мен Үндістан біртіндеп алға жылжып келеді. Кіші гидроэнергетикада заманға сай жетістіктер Австралия мен Жаңа Зеландияда байқалады. Гидроэнергетиканы пайдалануда мол дәстүрі бар Канада, елдің алыстағы аймақтарында қолданып жатқан қымбат дизельді генераторларды ауыстыру мақсатында кіші гидроэнергетиканы дамытуда. Оңтүстік Америка мен Африканың да мүмкіндіктері мол. 7.4-кестесінде, кіші гидроэнергетиканың еуропалық технологиясын экспорттау үшін қолайлы елдер көрсетілген.

Ресей кіші гидроэнергетиканы дамыту жағдайы әлі төмен деңгейде. Отандық гидроэнергетика дамуын тек ірі электрстанцияларын салумен байланыстыру, бұрыннан бері істеп келген кіші ГЭС тоқтауына немесе құлауына және оларға деген жабдық жасауды таратуға алып келді.

1913 ж. Ресейде жиынтық қуаты 8,4 МВт 78 кіші ГЭС пайдаланылған, оның ішіндегі ең ірісі 1,35 МВт қуатты Мургаб ГЭС болды. Ұлы Отан соғысы қарсаңында Ресейде 330 МВт жалпы қуаты бар 600 ауылдық кіші ГЭС, ал XX ғасырдың 40–50 жылдары көптеген кіші ГЭС салынып, жыл сайын 1000

энергоблоктар іске қосылып тұрды. Осындай жағдайды жалпы Қазақстан үшін де айтуға болады. Өткен ғасырдың ортасында республиканың барлық ауыл мекендерінде кішігірім гидроэлектрстанциялар жұмыс істеп тұрды.

7.4-кесте

Кіші гидроэлектроэнергетиканың еуропалық технологиясын экспорттау үшін қолайлы елдер

Регион	Перспектива	Ел
Латын Америка	Жақын арада	Бразилия, Перу, Аргентина, Эквадор, Колумбия
Африка	Осы уақытта	Уганда
Орталық шығыс еуропа	Жақын арада	Словакия, Чехия, Украина, СНГ елдері
Азия	Жақын арада	Непал, Тайланд, Шри-Ланка, Индонезия, Лаос, Вьетнам
Басқа	Осы уақытта	Үндістан, Қытай, Ресей, Кариб бассейндегі елдер, Куба

Қазіргі кезде Ресейде жиынтық қуаты жуықтап айтқанда 1000 МВт құрайтын 300-ге жуық кіші ГЭС пайдаланылып отыр, ал 1950–1960 жж. олардың саны 10 мыңға жуық болатын.

Ал 1962 жылы Ресейдегі кіші ГЭС саны 1665-ке дейін қысқарып, ал Қазақстандағы саны одан да тым төмендеп кетті. Жалпы кіші және микроГЭС экономикалық потенциалы Ресейде сағатына 200 млрд кВт болғанмен, оның тек 1–2 % ғана пайдаланылып жатыр. Ал Қазақстандағы кіші және микроГЭС экономикалық потенциалы сағатына 30 млрд кВт құрайды.

Салынып жатқан және пайдаланудағы кіші ГЭС санының қысқаруы тек Ресей мен Қазақстанға ғана емес, сонымен бірге АҚШ, Франция, Жапония секілді өркендеген елдерге де тән екендігін айта кеткен жөн. Мысалы АҚШ 3000 кіші ГЭС жұмысын тоқтатты.

Осы ғасырдың басында қазып алынатын органикалық отындар құнының өсуіне және дефициттігіне сәйкес, кіші ГЭС-ке деген қызығушылық қайта ұлғая бастады. Бұл қызығушылық Ресей және Қазақстанға да тән. Бүгінгі таңда кіші және микро ГЭС жаңадан салу немесе бұзылғандарын қалпына келтіру тенденциясы көзделуде.

Ал, «кіші» өзен деген ұғымның әзірше нақты не екені белгісіз. Оған деген біркелкі көзқарас қалыптаспаған, әркім әртүрлі анықтайды. Әйтсе де осы күндері гидрогеографиялық сипаттамаларына сәйкес өзендерді топтау үшін, сандық критерийлер қолданылып жүр: су жинағыштың ауданы (200 км² аспайтын), өзеннің ұзындығы (100 км-ден аспайтын), сонымен бірге бір географиялық аймақтағы су жинағыштардың орналасуы т.с.с. бойынша.

Осы критерийлерге сәйкес гидрографикалық тармақтарда саны және жалпы ұзындығы бойынша кіші өзендердің орны көп-көрім: бұрынғы КСРО территориясындағы 3 млн өзендердің 2,9 млн – кіші өзендер, Ресейдегі өзендер тармағының 94 % – кіші водотоктар. Олардың су ағызуы 25-тен 85 % дейін құбылады және өзеннің жалпы ағуының 50 % бөлігіне дейінін құрайды.

Кіші өзендер саласында және олардың жағалауларында тұрғындар тығыз орналасады. Ол маңда қала тұрғындарының 44 % және ауылдық тұрғындардың 90 % орын тепкен; 127 мың кіші өзендер тұрғындар мен шаруашылық кешендер мұқтаждықтары үшін пайдаланылады. Сондықтан да кіші гидроэнергетика, көптеген аймақтарда тұтынушыларды электрэнергиямен қамтамасыз ету көрсеткішін едәуір көтерді.

Бүгінгі күндері Қазақстанның әртүрлі аудандары үшін кіші өзендер кадастры жасалып жатыр.

Кіші өзендер мен бұлақтарда кіші энергетика объектілерін тұрғызудың бірқатар экономикалық, экологиялық және әлеуметтік артықшылығы бар.

Қазақстан жағдайында кіші ГЭС тұрғызудың экономикалық қажеттілігін төмендегі позициялардан байқауға болады:

– кіші ГЭС тұрғызу үлкен қаржы жұмсауды қажет етпейді және арзанға түседі, ал бұл алыс аудандар үшін өте маңызды;

– орта және үлкен ГЭС-терге қарағанда кіші ГЭС 1 кВт белгіленген қуатының өзіндік бағасы біршама үлкен болғанымен, оларды жылдам тұрғызуға болады және ол өз құнын тез арада ақтайды;

– типтік жобалар мен бірінғай жабдықтар жасаудың арқасында кіші ГЭС бағасын біршама томендетуге болады, ал бұл тұрғызу мерзімінің қысқалығымен және тез шығынды қайтара алуымен қоса ол станцияларды капитал салу үшін тартымды етеді;

– құрылыс және қызмет ету шығындарының аздығы, конструкциясының икемділігі мен қарапайымдылығы кіші ГЭС тұрғызу жергілікті энергожүйелердің мәселесі деп санауға мүмкіндік береді;

– қажеттілігіне қарай реттейтін сиымдылықты өсіре отыра, шығындық қаржыны біртіндеп жұмсай отыра, гидротоптарды кезегімен салу;

– органикалақ отынды үнемдеу және отын нарығындағы жағдайға тәуелсіздігі.

Қоршаған ортаға минимал әсерімен қоса адам мұқтаждығын қанағаттандыра алатын кіші гидротоптар, кіші ГЭС негізгі экологиялық әсері. Таяз және аз көлемді болғандықтан мұндай ГЭС су қоймалары, өзен жүйесіндегі суалмасу процесстеріне бөгет етпейді, керісінше, оның араласуын және аэрациясын жақсартады.

Кіші ГЭС салудың әлеуметтік әсері де бар, олар адамдарды отырған қонысынан аудармайды. Кіші ГЭС-ті энерготұтынушылар ыдырай орналасқан аймақтарда, мысалы, Орталық Қазақстан территориясында, салған тиімді.

Қуаты 0,5-тен 10 кВт және 10-нан 50 кВт болатын әртүрлі, соның ішінде жеңдік (рукавный) секілді микро ГЭС салу кеңінен таралуда.

Қазіргі кезде напоры (қысымы) 1 метрден 20 м болатын желілік және автоном кіші ГЭС үшін Ресей нарығында автоматты басқару және реттеу жүйесі бар комплекті гидроагрегаттар, сонымен бірге кіші гидроэнергетика объектілерінің құрылысына қажетті стандартты емес гидромеханикалық, көтергіш жабдықтар, қысым трубопроводтары, предтурбиналық затворлар және басқа да компоненттер бар.

Статикалық қысым қолданатын кіші ГЭС үшін жеңілдетілген конструкциялы радиал-ості, ожаулы, көлбеу және көлденең-жылжымалы, фронтальды гидротрубинылы гидроагрегаттар қолданылады. Жылдам напорлы кіші ГЭС үшін «Дарье», «Савониус», «Уэллс» және т.б. гидротрубинылар қолданылады. Кіші ГЭС үшін генераторларды «Электросила» (Санкт-Петербург), «Привод» (Сарапул), «СЭЗ» (Сафонова) және басқа да зауыттар шығарады.

Энергетикалық жабдықтарға қойылатын бүгінгі күн талаптарын және экономикалық деректерді талдау негізінде МНТО ИНСЭТ кіші ГЭС үшін төмендегі гидроэнергетикалық жабдықтарды жасап өндіріске енгізді:

- 1,5–10 м напорға арналған пропеллерлі жұмыс дөңгелекті 90 кВт дейін қуаты бар микро ГЭС;
- 100 кВт дейін қуат беретін 10–55 м напор үшін жасалған диоганальді жұмыс дөңгелекті микро ГЭС;
- 500 және 1500 кВт дейін қуат беретін 3,5–9 және 10–25 м напор үшін жасалған пропеллерлі гидроагрегаттар;
- қуаты 5000 кВт 25 м напор үшін жасалған радиаль-осьті гидроагрегаттар;
- қуаты 5000 кВт 450 м напор үшін жасалған ожаулы жұмыс дөңгелекті гидроагрегаттар.

МНТО ИНСЭТ жасап шығарған гидроагрегаттар Ресейдегі, Қазақстандағы және басқа елдердегі көптеген қайта құрылған және жаңадан салынған кіші ГЭС-терде пайдаланылуда.

Кіші ГЭС жабдықтарын жобалау, құраудағы аз напорлы (2–5 м) және үлкен шығынды суға арналған гидроагрегаттарды жасау әлі меңгерілмеген сала; тура осындай параметрлер Қазақстандағы көптеген өзендерге тән. Бұл жағдайда «СибНИИэ» институты жасаған қалытқы ГЭС қолданылуы мүмкін.

Кіші ГЭС маусымдық электростанция болғандықтан кепілді энергияны шығаруды әмсе қамтамасыз ете алмайды. Қыста оның энергия беруі күрт төмендейді. Оған себептер қар жамылғы және мұздық құбылыстар (мұз және қабыршық мұз), сондай-ақ жазда судың азаюы мен тартылып қалуы олардың жұмысын мүлдем тоқтатып тастауы мүмкін. Сондықтан мұндай

ГЭС қуаттары көптеген аймақтарда тұтынатын энергияны алмастырушы емес, тек оны қайталаушы ретінде қарастырылады. Осыған байланысты кіші ГЭС локальді рөл атқарады.

Кіші және микро ГЭС кіші өзендерге ғана емес басқа да жағдайларда қолданылады. Мысалы, оларда ауыз-су құбырына өнеркәсіптік технологиялық водотоктарға, ЖЭС, өнеркәсіптік және канализациялық суағарларына (сток) орнатуға болады. Мұндай мүмкіндік қысымды өшіру қажеттілігі бар водотоктарда (өнімжібергіштер) іске асуы мүмкін. Өшіргіш орнына, өндірістің өз қажеттілігіне қолдануға болатын немесе водотоктардағы артық қысым есебінде желіге жіберілетін электрэнергия шығаратын микро ГЭС құрылғысын пайдаланған жөн. Микро ГЭС-ті осылай пайдалану газ құбырларындағы детандерлік генераторларды қолданған секілді екендігін айта кету керек. Жақында белгілі болған, әлі кең тарамаған, жасаған автордың атымен аталатын, Горловтың геликоидты турбинасының болашақта алар орны зор. Оның ерекшелігі сол, ол өзен мұхит сулары ағысының, теңіз суы көтерілуінің кинетикалық энергиясын ғана пайдаланып, үлкен напорды қажет етпейді.

Сонымен, кіші ГЭС салуда және пайданлануда жиналған тәжірибеге сәйкес, кіші және микро ГЭС тұрғысындағы техникалық саясат төменгі бағыттарға негізделуі қажет:

- жобалау шешімдерін әрі қарай дамыту, оның ішінде ГЭС құрастыруды жеңілдету мақсатында бір ізгі жобалар жасау, плотина, водовод салу үшін ағаш секілді жергілікті материалдарды қолдану, құрылыс құнын төмендету;

- қыс мерзімінде жеңдік микро ГЭС жұмысын қамтамасыз ете алатын конструктивтік шешімдер жасау;

- өзен арнасы қатқан кездегі микро ГЭС жұмысын қамтамасыз ететін конструктивті шешімдерді жасаумен бірге, натурды сынақ өткізу;

- қуаты 1-2-5-10 кВт еркін ағыста батырылған және жүзбелі микро ГЭС жасау;

- автоматты режимде жұмыс істеуді қамтамасыз ететін басқару жүйесін жасау.

7.3. Кіші атом электрстанциясы

Атом энергетикасының инновациялық дамуының бір бағыты, атомдық кеме жасау технологиясы негізінде жылумен электр өндіретін, кіші және орта қуатты (200 кВт–600 кВт) үйлестірілген энергоблоктарды өндірістік шығару және тұрғызу.

Бүгінгі таңда кіші атом энергетикасын жобалау және өндіріске ендіру жұмыстары көптеген елдерде жақсы жолға қойылған. Олардың бірнешеуін атап өтейік:

- Ресей – «Елена», «Рута», «KLT-40С»;
- Қытай – HTR-10;
- Жапония – 4S, Rapid-L;
- АҚШ – PBMR және HTGR.

Кіші ядролық реактор маңайындағы жағдайды талдау барысында көптеген елдердің «Көш бастау» бас бәйгені алу үшін жарысқа түскенін байқауға болады. Соның ішінде АҚШ көмірсутек отынды энергоқұрылғылардың орнына кіші АЭС салу керектігін қолға алып Аляскада және басқа да жеті регионда реакторлар салу жұмысын жүргізіп жатыр. Оңтүстік Африкалық «Escom» компаниясы 2016 жылы 216 мини-реактор жасап бір бөлігін экспортқа жіберіп, бір бөлігін өз елінде пайдалануда.

Кіші атом энергетикасын дүниежүзі елдерінде қызу қолға алып дамытуы оның бүгінгі күнгі өзектілігі. Ол дамыған елдердің алыс аймақтарында ғана емес, сонымен бірге шөл далада, мұхит аралдарында орналасқан территорияларда, тіпті халқы аса тығыз мегаполистерде де энергожабдықтау мақсатында пайдаланылады. Жапонияда жасалған Rapid-L миниатюрлі ядролық реактор тұрғын үйлер мен көп қабатты зәулім офис-ғимараттарды энергиямен жабдықтау үшін қолданылуда. Мұндай реакторларды орнату көп жер алмайды, сондықтан да мегаполистер үшін тиімді.

БҰҰ эксперттерінің пікірі бойынша жақын арада кем дегенде 30 ел тұщы суға зарығуы мүмкін. Оңтүстік-Шығыс Азия, Африка, Австралия, Таяу Шығыс елдері қазірдің өзінде ауыз су тапшылығын көріп отыр. Сол себептен де бұл аймақ елдері Ресейлік конструкторлар жасаған жүзбелі АЭС

қызығушылық көрсетіп отыр. Оларды бұл станцияның тек қана мобильдігі емес, сонымен бірге энергиямен жабдықтаудағы сенімділігі де назарын аударады. Ядролық құрылғы тұщыландыру комплекстері үшін сенімді энергия көзі. Бұл комплекстер 100 мың халқы бар қала тұрғындарына жететін тәулігіне 200–400 мың м³ тұщы су бере алады. Бүгінгі күні Ресейлік кіші АЭС жобасына Индонезия, Малайзия, Қытай және басқа да елдер қызығушылық танытуда.

Алғашқы көзі кіші АЭС болатын энергия есебінен, қажетті шикізат болған жағдайда, синтетикалық жанғыш (этанол мен метанол) және сутек шығару өндірісін ұйымдастыруға болады. Қазіргі дүниежүзілік тенденцияға сәйкес, болашақта тасымалдауыштардың барлық түрлері де сутек жанғышын кең пайдаланады. Соңғы ондаған жылдар ішінде көптеген елдерде сұйытылған табиғи газ өндіру индустриясы кең етек жаюда. Мамандардың пікірі бойынша бұған энергия көзі ретінде пайдаланылатын газ көлемінің 20–30 % бөлігі газды сұйытуға жұмсалады екен. Сондықтан да СТГ алу үшін алғашқы энергия көзі ретінде мобильді кіші АЭС пайдалану тиімді де ыңғайлы.

Стационар және мобильді кіші АЭС қолдану диапазоны өте кең – олар жылу және электр энергияларымен жабдықтау сенімділігін қажет ететін, барлық жағдайларда пайдаланылуы мүмкін.

Кіші АЭС тұрғызу қажеттілігі бір-бірімен тығыз байланысты экономикалық, экологиялық және әлеуметтік факторларға сәйкес бағалануы тиіс.

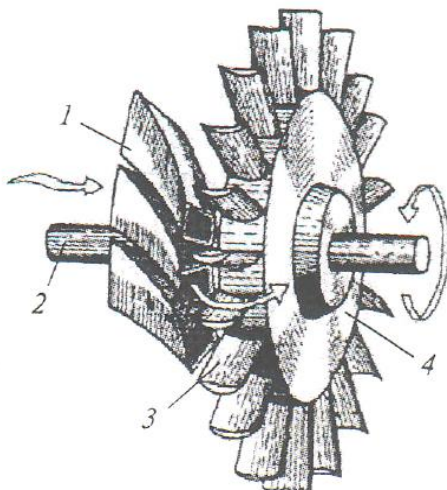
7.4. Кіші жылу энергетикасы

Жоғарыда айтылғандай, «кіші энергетика» (Small energetics) генерирлейтін құрылғылардың тұтынушыларға тікелей жақын жерде, яғни локальды орналасқандығын көрсететін ұғым. Бұл терминмен жылулық қуаты 23 МВт мөлшерден аспайтын кіші жүйелерді шартты түрде белгілейді.

Бүгінгі кіші және үлкен газ турбиналары бірдей п.э.к (55–60 %) жұмыс істей алады, сондықтан да көптеген елдерде кіші жылу энергетикасына аса көңіл бөлінуде. Оған қоса 1000 км

қашықтыққа берілетін үлкен энергетика электрэнергиясының шығыны 10 % мөлшерін құраса, газды бергендегі шығын тек 1 %. Сондықтан когенирлеуші (жылу мен электрді бірдей өндіруші) газ құрылғыларын тұтынушыға жақын орналастырған тиімді, ал бұл кезде п.э.к. көп-көрім жоғарылайды.

7.1-суретте газтурбиналы құрылғының принципиал схемасы келтірілген.



7.1-сурет. Газ турбинасының принципиалды схемасы:

*P – регенератор; АУ – ауалы компрессоры (генератор);
ЖК – жану камерасы; ГТ – газ турбинасы, ЖҚ – жіберу
қозғалтқышы; ОН – отын насосы; ГК – газдық компрессор*

(КС) жану камерасына (ТН) отындық насос немесе (ГК) газ компрессоры көмегімен сұйық немесе газ тәріздес отын беріледі. Мұнда қосымша жану өнімдерінен шыққан жылумен (Р) регенеративті жылытқышта қыздырылған және алдын ала 15–20 атм. дейін қысылған атмосфералық ауа да бірге беріледі. Жанған отыннан шыққан газ (жану өнімі) (КС) жану камерасынан (ГТ) газ турбинасына беріледі.

Газ турбинасының жұмыс істеу принципін 7.2-суреттен көруге болады.

компрессорын қозғалтады. Қазіргі кездегі газ турбиналары – көпсатылы машина, яғни онда бірнеше қатар сопло құрылғылары мен жұмыстық қалақшалар бар және де ол жану өнімінің бастапқы жоғары температурасына арналып есептелген.

Энергетикада газ турбиналары кең қолданылады:

- біріншіден, пиктік құрылғы ретінде;

- екіншіден, ЖЭС тұрған БГҚ-да қолданылады. Онда газ турбинасы жану өнімінің жылуды есебінен су буға айналады, ал бу электргенераторын айналдырады.

Технологиялық схемасы мен циклінің принципіал оңайлығы есебінен ГТҚ құны бу генераторларына қарағанда әлдеқайда төмен. Аз орын алады, суытуды қажет етпейді, тез іске қосылады және жұмыстық режимінде ауыстыру көп уақыт алмайды.

7.5. Биологиялық отындарды пайдалану

Қазып алынатын қымбат көмірсутек отындарды үнемдеудің бір жолы, кіші жылу энергетикалық жүйелердегі орта және ұсақ қазандардың отыны ретінде жергілікті биологиялық отындарды пайдалану. Бұл үрдіс қазір дүниежүзінің барлық елдерінде етек жаюда. Мысалы, бұл бағытта Швеция едәуір жетістіктерге жетті. Онда жергілікті биомассаны (ағаш, торф, тұрмыстық қалдық) пайдалану барлық энергетикалық отындардың 21 % құрайды, ал газ тек 2 %. Австрияда бұл көрсеткіш – 12 %, Финляндияда – 23 %. Жалпы ЕО елдерінде жалпы энергияның шамамен 14 % биомассадан алынады. Осындай елдер қатарына Индия, АҚШ, Бразилия, Канада және басқа да елдер кіреді.

Биоотын – ауылшаруашылық өндіріс қалдықтарынан алынатын биологиялық шикізат. Оларды сұйық және қатты биоотындар деп бөледі. Сұйық биоотындар – іштен жанатын қозғалтқыштарда этанол, биодизель, ал қатты биоотындар – ағаш отын, жаңқа, сабан түрінде пайдаланылады.

Іс жүзінде жиі пайдаланылып жүрген биоотын – *пеллеттер*, немесе отындық түйіншіктер.

Отындық немесе ағаш түйіршіктері (пеллеттер-pellets), ағаш үгінділері, бұтақтар, қабықтар, жапырақтар, т.б. секілді

ағаш өңдеу өндірістерінің қалдықтарын кептіру, престоу арқылы жасалған диаметрі 4–10 мм, ұзындығы 2–5 см цилиндр тәріздес түйіншектер. Ағаш түйіншектердің 1 килограммының энергиясы 0,5 литр сұйық отынның энергиясына пара-пар. Экономикалық тиімділікпен қоса, пеллет атмосфераға жіберілетін қатерлі заттар мөлшерін азайтады.

Пеллеттің екі түрі бар. Тұрғын үйлерді жылыту үшін «ақ» пеллеттер пайдаланылады. Өнеркәсіптік түйіншектердің құрамында қабықтардың үлесі мол болатындықтан олар тым ақ емес, қаралау.

Үлкен өлшемді түйіншектерді *брикеттер* деп айтады. Олар арнайы жабдықтармен жасалады.

2020 жылы Еуропада биоотынды тұтыну 37,0 млн т мұнайға пара-пар болады деген болжам бар.

Газификация үшін қолданылатын шикізаттар: ағаш, сабан, жүгері сабағы, өсімдік және ағаш өңдеу шаруашылығының қалдықтары, арнайы плантациялар.

Биосингаз сутек, метанол, аммоний, күкірт алу үшін және энергетикалық отын ретінде пайдаланылады.

Биосингаз алу үшін қатты тұрмыстық қалдықтар кеңінен пайдаланылуда (ҚТҚ). Бұл технология көптеген елдерде бар.

Пиролиз – сұйық органикалық отын (биомұнай) алу үшін ауасыз жағдайда лигнол – целлюлозды материалдарды өңдеу процесі.

Бұл процесті жүргізу үшін биомассаның 20 түрін пайдалануға болады. Жүгері қауызы, шырша, қарағай, балқарағай, қайың, қаратерек, сабан, ҚТҚ және басқа 1 т алғашқы шикізаттан пиролиз процесі арқылы 58-ден 80 % дейін биомұнай алуға болады.

Ең жақсы материал жүгері қауызы, одан 80 % жуық биомұнай активтенген көмірдің 12 %, 7 % газ алынады. Қарағай-шырша ағаштарының қоспасы биомұнайдың 70 %, көмірдің 14 %, газдың 13 % береді.

Биоэтанол (C_2H_5OH спирті) алу үшін алғашқы шикізат ретінде қант қызылшасы, қант тростнигі, жүгері, бидай, картоп, тәтті сорго, касава (9.1 және 7.5-кестелер) пайдаланылады.

Бүгінгі таңда дүниежүзінде жылына 32 млн м³ этанол өндіріледі, ал оның жылдық қажеттілігі 2 млрд м³ деп бағаланылып отыр.

ҚТҚ өңдеу үшін көптеген елдерде қалдық жандыру зауыттары салынған және қалдықтардың көбеюіне сәйкес электр және жылу өндіретін мұндай зауыттарды салу қарқыны әлі өсуде. Бірақ мұндай зауыттардың көбеюіне көлгірсіп кетуге де болмайды.

7.5-кесте

1 га әртүрлі дақылдардан өндірілетін спирт және 1 м³ көлемінің құны

Шикізат	Спирт көлемінің құны, 1/га	Құны, долл./м ³
Қант қызылшасы	2,5–3,0	300–400
Қант тростнигі	3,5–5,0	160
Жүгері	2,5	250–400
Бидай	0,5–2,0	380–400
Картоп	1,2–2,7	800–900
Тәтті Сорго	3,0–5,0	200–300
Касава	1,5–6, 0	700
Синтетикалық спирт	–	540
ҚТҚ	20 м ³ /т	–

7.6-кесте

Этанолдың дүниежүзілік нарығы

Ел	Бағасы, еуро/м ³
Бразилия	160
Бразилия (сусыз спирт)	220
АҚШ (сусыз спирт)	250
Европа (қызылша сусыз спирті)	350–450
Спирттің еуропаға импорты	190

ҚТҚ жағу – өте қымбат және қауіпті: мұндай зауыттардың бәрі қауіпті өндірістер қатарына жатады. Диаксин шығару мұндай зауыттардың үлкен бір проблемасы болса, қоршаған

ортаны ауыр металдармен былғау – үлкен ғана емес, сонымен бірге лонгирленген проблемасы, себебі олардан көптеген жылдар бойы айығу мүмкін емес.

Сондықтан да Англия, Нидерланд, Польша, Германия және т.б. елдер өздерінің қалдық жағу зауыттарын жауып жатыр. Бір сөзбен айтқанда, мұндай зауыттардың кейбіреулері ҚТҚ көметін полигондардан да артық қауіпті болып шықты. Осыған карамастан, Қазақстанда мұндай зауыттарды Ресейден сатып алып қолдану үшін жасалынған жобалар аз емес. Бүгінгі таңда радикал шешім қажет – ҚТҚ пайдаға асырудың экологиялық зиянсыз технологиясын жасау.

7.6. Кіші құрастырылған жылу жүйелері

Соңғы жылдары желдизельді, күн-желдизельді және т.б. әртүрлі энергия көздерінің құрастырылған түрлерінен алынған энергиямен жабдықтау жүйелері кең пайдаланылуда. Ол жүйелер туралы арнайы оқулықтардан мәліметтер алуға болады.

Бұл параграфта ондай жүйелер жөнінде емес, бір көзден әртүрлі энергияларды құрастырып алу туралы сөз қозғаймыз.

Когенераторлы (когенерациялы) құрылғылар. ЖЭО-да жылу және электр энергияларының қатар алынатыны белгілі.

«Когенераторлы құрылғы» деген термин шетелде, бірлік электрлік қуаты 0,1-ден 15 МВт дейінгі және жылулық қуаты 20 Гкал/сағ дейінгі кіші жылу энергетикалық құрылғылар үшін қолданылады.

Сонымен, когенераторлы құрылғы (станция) алғашқы энергия көзін жылу мен электр секілді энергияның екі түрін өндіру үшін пайдаланылады. Когенераторлы электрстанцияның басты артықшылығы сол, онда отын энергиясын пайдалану әлдеқайда үлкен тиімділікпен өтеді, нәтижесінде алғашқы отынға деген қажеттілік төмендейді.

Кіші когенераторлық ЖЭО электргенератор жетегі ретінде дизельді, газпоршеньді, екіотындық поршеньді іштен жану қозғалтқыштары, газ турбиналары, қарсықсымды бу турбиналары немесе буды аралық сұрыптап алатын және технологиялық қажеттілік үшін конденсатордағы ысыған суды

пайдаланатын конденсациялық түрдегі турбиналар, сонымен бірге шнекті бу машиналары пайдаланылады.

Жылугенераторлары ретінде пайдаланылған ыстық газды қолданатын қазандықтар және суытылған судың жылу алмастырғыштары пайдаланылады.

Когенераторлы электрстанцияны мегаполистерде қолдану желіге ешқандай өзгеріссіз электржабдықтау нарығын тиімді толтыруға мүмкіндік береді. Когенераторлы құрылғылардың автономды жұмысы тұтынушыларды жиілігі мен кернеуі бойынша тұрақты параметрлі электрэнергиясымен және температурасы бойынша тұрақты параметрлі жылуэнергиясымен қамтамсыз ету мүмкіндігін туғызады.

Қазақстанда және басқа елдерде когенераторлы құрылғыларды қолданудың потенциалды объектеріне өнеркәсіптік өндірістер мұнай өңдеу зауыттары, ауруханалар, тұрмыстық сфера объектілері, газсору станциялары, компрессорлы станциялар және т.б. жатады. Энергия көздерінің тұтынушыға жақын орналасуы энергия тасымалдау шығынын азайтады, оның сапасын көтереді және осыған сәйкес алғашқы отын энергиясының пайдалану коэффициентін жоғарылатады.

Энергожүйелер де өз желісіне когенераторлық құрылғыларды қосуға қызығушылық білдіреді, себебі олар электростанция құрылғысына еш қаржы жұмсамай-ақ қосымша генерирлеуші қуатқа ие болады. Жылулық желілер жылу шығаруды төмендету мүмкіндігін алады және қолданыстағы жылулық желілер арқылы жақын орналасқан тұтынушылар үшін арзан жылу сатып ала алады.

Үшгенерациялы құрылғылар. Ғимараттар (тұрғын үй, өндірістік ғимарат) және оның объектілері әдеттегідей күйде жұмыс істеп тұруы үшін оларды жылу, электр, тоңазытқыш жабдықтарымен қамтамсыз ету қажет. Бұл жүйелер көбінесе жеке-жеке болып бір-бірімен еш байланыспайды. Энергожабдықтаудың бұл схемасы құрал-саймандардың бір бөлігінің ұзақ тұрып қалуына, құрылғыларды экономды емес режимде пайдалануға және бірлескен режимде энергияның артық шығынына алып келеді. Нәтижесінде жазды күні шығынды едәуір азайтудың орнына, тұтынушылар тиімді емес

режимде жұмыс істейтін котельнаядан алынатын ыстық су шығыны үшін де, және кондиционирлеу үшін де төлем ақысын шығаруға мәжбүр.

Бұл жағдайдағы перспективті бағыттың бірі үш генерациялы құрылғылар. Олар жылуды, электрэнергиясын және суықты біркезде өндіреді. Мұндай жүйелерді қолдану экономикалық және әлеуметтік көптеген маңызды проблемаларды шешуге мүмкіндік береді.

Біздің елде үшгенерациялы құрылғының жетегі ретінде газпоршеньді қозғалтқышты пайдалану тиімді. Себебі ол блоктық қазандық құрылғыларға қарағанда, газды екі есе аз тұтынады және ағымдағы шығындағы отын құнының үлесі әлдеқайда төмен.

Суықты өндіру үшін букомпрессионды немесе абсорбционды тоңазытқыш машиналар пайдалынады, жылытатын кезеңде тоңазытқыш машиналар жылу насосы режиміне ауыстырылуы мүмкін.

Букомпрессионды машиналар компрессорының жетегі кіші ЖЭО электргенераторы арқылы қозғалады. Абсорбционды үшгенерирлеу құрылғылары осы станциялар қайта пайдаланатын жылу энергиясымен жұмыс істейді (пайдаланылған газ, ыстық су, бу).

Үшгенерирленген құрылғылардың жеңілдетілген схемасы: газ қозғалтқышы электргенератор мен жылу насосының компрессорын бірмезгілде айналдырады. Электргенераторы өндірген электрэнергиясының бір бөлігі тұтынушыларды электрмен жабдықтауға, ал енді бір бөлігі құрылғының өз электржабдықтауына жұмсалады. Жылунасосы құрылғыда кері термодинамикалық процесс өтіп, нәтижесінде буландырғышта төменпотенциалды көз (ауа) жылуын сору жүреді, ал конденсаторда – суық суды қыздыратын жылу бөлініп шығады. Су конденсатордан кейін қатпарлы жылуалмастырғыш пен экономайзерге кіреді де қозғалтқыштың суыту жүйесінен шыққан тосол және шығарылатын газ жылуларымен қызады. Әрі қарай ысыған су жылыту және ыстық сумен жабдықтау жүйелеріне беріледі, ал суық ауа буландырғыштан кейін

кондицирлеу және суықпен жабдықтау жүйелерінде пайдаланылуы мүмкін.

Үшгенерирлеу құрылғылары әртүрлі отындар түрімен жұмыс жасай алады: табиғи газ, дизельді отын, бензин, пропан-бутан т.б.с.с. Алғашқы отын ретінде ағаш қалдықтары, торф және басқа жергілікті ресурстар пайдаланылуы мүмкін.

Детандерлі генераторлар. Бұлар қуатты табиғи газ тұтынушылармен, оның ішінде ЖЭС-мен бір комплексте қолданылады.

Бүгінгі таңда газ құбыры өте ұзын. Ол арқылы табиғи газ 50–70 атм қысыммен тасмалданады. Мұндай үлкен қысымды жасау үшін өте көп энергия жұмсау қажет. Айта кетсек, өндірілетін табиғи газдың 7 % газқотаруға, яғни газқотару станцияларының (компрессорлардың) жұмысын қамтамасыз ету үшін жұмсалады.

Тұтынушылар үшін мұндай үлкен қысым қажет емес. Жергілікті қалалық газ жүйелерінде стандартты 12; 6 және 3 атм қысым пайдаланылады, ал тұтынушылар аппаратына табиғи газ 1–2 атм қысыммен беріледі. Магистральдан тұтынушыға келетін газ қысымын төмендету бүгінгі таңда газтаратушы станцияларда газды дроссильдеу жолымен іске асырылады. Отын шығынын талап атпейтін «жасыл» энергияны өндіру идеясын алғашқы болып 1948 ж. орыс ғалымы академик М. Миллионщиков ұсынды. Ол кезде бұл идея объективті себептермен іске аспай қалды. Мұндай құрылғыда электрэнергиясын өндіру технологиясы өте қарапайым. Газтаратушы станциялардағы дроссельдің орнына газ ағынына генератор білігімен жалғанған үшсатылы турбина (детандер) орнатылады. Газ турбинаға үлкен қысыммен кіріп, көлемі ұлғайғанда оның температурасы төмендейді, яғни термодинамиканың бірінші заңына сәйкес ол бұл кезде өзінің жылу энергиясын береді. Газ энергиясының өзгеруі есебінен жұмыс істелінеді –турбина қалақшалары айналып, онымен жалғасқан генератор электрэнергиясын өндіреді. Құрылғы детандер – генераторлы деп аталынады.

Газ көлемі ұлғайғанда детандер мұзданып қалмау үшін (газ температурасы 60–70 °С ке төмендейді), газды турбинаға кірер алдында жылуалмастырғыштан өткізеді. Онда ол

пайдаланылған жылу тасымалдауыш (ысыған су, ЖЭО дымқыл буы) жылуынан қосымша энергия алып, құрылғының ПӘК жоғарылайды.

Стирлинг-технологиялар. Адамзат алдында тұрған экологиялық және энергетикалық проблемаларды шешудің прогрессивті жолының бірі, Стирлинг тура және кері циклдерімен жұмыс істейтін машиналар негізінде энергия түрлендіргіш жүйелерді жасау және кеңінен енгізу. Бұл бағыт дамыған елдер кіші энергетикасында соңғы 20 жыл ішінде орын алып, ХХІ ғасырдағы ең бір перспективті бағыт болып саналады.

Стирлинг қозғалтқышы – сырттан жылу беру қозғалтқыштары класына жататын жылу поршеньді қозғалтқыш. Ондағы тұйықталған көлемде айналып жүретін тұрақты жұмыс денесі (газ) сыртқы жылу көзімен қызып, көлемінің ұлғаюы есебінен пайдалы жұмыс істейді.

Қозғалтқышты 1816 ж. Шотландия дін қызметшісі Р. Стирлинг ойлап тапты. Оның жұмыс істеу принципі іштен жанатын қозғалтқыштікіндей: суық газды сығуға кететін механикалық жұмыс, ыстық газ көлемі ұлғайғандағыдан аз болуы есебінен пайдалы жұмыс істелінеді. Бірақ, сыртқы жылу көзінің және тұрақты жұмыстық дененің болуы Стирлинг қозғалтқышының конструктивтік ерекшелігі бар екенін көрсетеді. Стирлинг қозғалтқышы конструкциясы жағынан – компрессордың, детандер мен жылу алмастырғыш құрылғысының, регениратордың және тоназытқыштың бір агрегат болып қосылған жиынтығы. Жұмыстық дене ретінде гелий, сутек, ауа ж.т.б. қолданылады. Іштен жанатын қозғалтқыштан айырмасы, Стирлинг қозғалтқышы цилиндрі көлемінің айнымалы екі қуысы бар – ыстық және суық. Жұмыстық дене суық қуыста сығылып, ыстық қуысқа келеді де қызып кері бағытқа қарай жылжиды да суық қуысқа қайтып келеді, онда оның көлемі ұлғайып пайдалы жұмыс істелінеді. Қозғалтқыштың қуатын газ мөлшерін өзгерту арқылы реттейді. Стирлинг қозғалтқышының ең басты ерекшелігі – онда жылудың кез келген көзін (сұйық, қатты, газды және ядролық отындар, күн энергиясы) қолдануға болатындығы және сығу,

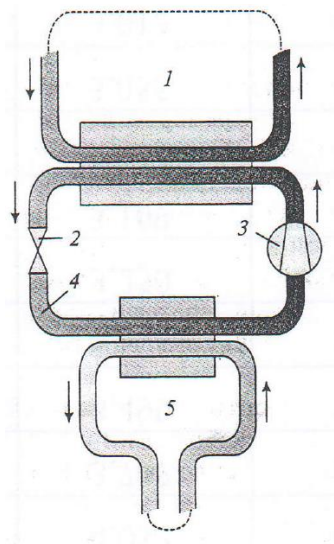
ұлғаю қысымдарының аздаған құламасында үлкен аумақты температурада жұмыс істей алатындығы.

Жылулық насостар. Жаңғыртылмайтын органикалық отынды үнемдеу – барлық дүниежүзілік бірлестіктер үшін маңызды проблема. Бүгінгі таңда энергияны дәстүрлі әдістермен өндіру және тұтынудың тиімділігіне бағытталған көптеген программалар іске асырылуда. Сонымен қатар дәстүрлі энергетика, күн жел энергияларын пайдалану технологиялары кең өріс алуда. Бұл қатарда ЖЭО мен АЭС шығару жылуларын, канализация суағарлары жер астындағы және геотермальды сулар, өзендер, суаттардың төмен потенциалды жылуын түрлендіретін жылу насосы технология ерекше орын алады. Осы күндері жылу насостары өндірісте кең таралып, органикалық отындарды алмастыруға едәуір үлес қосуда. Дүниежүзілік энергетикалық комитеттің (МИРЭК) бағалауы бойынша, 2020 жылы дүниежүзінің әр еліндегі үй-жай, өндірістік жылужабдықтаудың 75 % жылу насостары арқылы іске асырылады.

Жылунасосы құрылғылар төмен қайнаушы жұмыстық заттар арқылы кері термодинамикалық циклді іске асыра отыра, жаңғыртылатын төменпотенциалды жылу энергиясын қоршаған ортадан жинап алып, оның потенциалын жылужабдықтауға қажетті деңгейге дейін көтереді. Ол үшін отынды тікелей жаққандағы энергиядан әлдеқайда кем болатын энергия шығыны жұмсалады. Жылунасосы құрылғыларды қолдану органикалық отындарды үнемдеуді қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен бірге CO_2 парник газдарының ауаға шығуын да шектейді.

Жылу насосын буландырғыш, компрессор, конденсатор және редукционды (жіберуші, түсіруші) клапаннан тұратын төрт элементі бар жұмыстық контур түріндегі схема арқылы көрсетуге болады (7.3-сурет).

Жұмыстық контурға қоршаған ортадан жылу жинақтайтын, ішінде жұмыстық заттар (су, антифриз және ауа) айналып жүретін біріншілік (сыртқы) контур, және екіншілік – жылыту мен ғимаратты ыстық сумен жабдықтау жүйелеріндегі су жанасады.



7.3-сурет. Жылу насосының схемасы:

1 – конденсатор; 2 – редукционды клапан; 3 – компрессор;
4 – хладагент (хладагент); 5 – буландырғыш

Буландырғыш – бір жағынан, суық сұйық хладагент (фреон) айнала ағатын, ал екінші жағынан, қарама-қарсы ағыспен бірінші контурдың жұмыстық заты айналып ағатын, қатпарлы жылуалмастырғыш.

Біріншілік контур – төменпотенциалды жылулық энергиясы бар контур. Айта кетелік, төменпотенциалды деп температурасы жылытушы контурды тікелей қыздыруға жеткіліксіз контурды айтады. Біріншілік контурдың энергия көзі ретінде жердің, жерасты суының, сыртқы ауаның және т.б. жылулары пайдаланылады.

Буландырғышта хладагент біріншілік контурдың жылуын алып қайнайды да буланады, осыған сәйкес біріншілік контурдың температурасы төмендейді.

Компрессор газтәріздес (буланған) хладагентті сорып алып, оны сығу арқылы оның температурасын күрт көтереді. Ыстық газтәріздес хладагент конденсаторға итеріліп шығарылады.

Құрылымы жағынан конденсатор – буландырғыш секілді жылуалмастырғыш. Конденсатордың жұмыстық контур жағында ыстық хладагент айналып ақса, екіншілік жағында – су немесе антифриз ағады.

Ыстық хладагент, жылыту жүйесіндегі немесе ыстық сумен қамтамасыз ету жүйесіндегі жылусақтағышпен жылулық контактіде болып, оларға өз жылуын беруі себебінен конденсирленеді. Бұл кезде сұйық фреон конденсатордың түбіне ағып түсіп, қысым құламасы есебінен редукционды клапан арқылы буландырғышқа сығылып жіберіледі. Оның температурасы күрт төмендейді. Осыдан кейін қайтадан жаңа жұмыстық цикл басталады. Жылулық насостың басқа электр, газ немесе дизельді жылулық генераторларынан ерекшелігі сол, мұнда өндірілген жылу энергиясының 75 % қоршаған ортадан, ал қалған 25 % – компрессордың жылулық насосы үшін қажетті электр энергиясы.

Жылулық насос тек жылу өндіріп қоймай, сонымен бірге керісінше кондиционерлеу жүйелері үшін суық көзі де бола алады. Суықпен жабдықтау принципі оңай. Қыс кезінде жылулық насос стандарт жылыту жүйесінде пайдаланылатын жылуды қоршаған ортадан «трансформирлендіреді». Ал жаз күндері үй-жайдағы қажетті климатты жасау үшін, «суық», мысалы скважинадан (7–9 °C) алынады.

Жылунасосытық құрылғыларды ЖЭК (күн, жел, био) технологияларымен үйлестіре жасалған комбинирлі схемаларда қолданудың перспективасы зор. Мұндай жүйелер жаңғыртылмайтын ресурстарды үнемдеуге үлкен үлес қосулары мүмкін.

Бақылау сұрақтары:

1. Кіші энергетика дегеніміз не және оған қандай электрстанцияларын жатқызуға болады?
2. Кіші гидростанциялар қандай параметрлері бойынша жіктеледі және оларды тізіп шығыңыз.
3. Кіші гидроэлектрстанцияларын дамытудағы техникалық саясаттың бағыттарын атап өтіңіз.

4. Кіші атом энергиясын пайдаланудың дүниежүзілік өзектілігін түсіндіріңіз.

5. Кіші АЭС тұрғызу қандай факторлармен бағланады?

6. Кіші жылу энергетикасын дамытудың артықшылықтарын атап өтіңіз. Бұл бағыттағы биоотынның орнын көрсетіңіз.

7. Когенераторлы, тригенерациялы, детандерлі құрылғылар дегеніміз не?

8. Стирлинг – технологияның ерекшелігін және мәнін түсіндіріңіз.

9. Жылу насостарының орны, құрылысы және қолданылуы жөнінде мағлұмат беріңіз.

8. ЖАҢҒЫРТЫЛАТЫН ЭНЕРГЕТИКА

8.1. Гидроэнергетика

Су энергиясын адамзат атам заманнан бері пайдалануда. Мысыр, Үндістан, Қытайда арнайы су дөңгелектері жасалынып, олар арқылы жер суару каналдарын толтыру және диірмен тасын айналдыру үшін құдықтан су шығарған. XIX ғасырда су энергиясы тек механикалық емес, сонымен бірге электр энергиясын өндіру үшін қолданыла бастады.

Гидроэнергетикаға деген қызығушылық оның басқа станцияларға қарағанда едәуір артықшылығымен байланысты. Ол артықшылықтары:

- отын ресурстарын сақтайтын жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалану;
- энергетикалық жабдықтардың жоғары ПӘК;
- объектінің комплекстік орны;
- электрэнергиясын өндіруде төмен өзіндік құны;
- негізгі жабдықтар жұмысын автоматтандыру мүмкіндігінің болуы;
- қызметкерлер санының аздығы;
- эксплуатациялық көрсеткіштерін төмендетпей қандай жағдайда болсын гидроагрегаттардың кең көлемде маневрлі жұмыс істей алуы;
- атмосфераға ластау заттарын лақтырмауы.

Энергетикалық потенциалы пайдаланылатын өзен су ағысы гидроэнергетикалық ресурс болып есептеледі. Гидроэнергетикалық ресурс потенциалды, техникалық және экономикалық болып бөлінеді.

Потенциалды гидроэнергетикалық ресурстарда (теориялық валдық) барлық су энергиясы шығынсыз электрэнергиясына түрлендіріледі деген, яғни ПӘК бір болатын болжаммен анықталады.

Техникалық гидроэнергетикалық ресурстар (техникалық потенциал) – техникалық тұрғыда пайдалануға мүмкін немесе пайдаланып отырған өзен су ағысының валдық потенциалының

бір бөлігі. Техникалық гидроэнергетикалық ресурстар гидравликалық (су өткізгіш жолда), электромеханикалық (жабдықтарда), су қоймасындағы судың булану, жерге сіңу т.с.с сөзсіз болатын шығындарды ескереді. Оған қоса өзеннің жоғарғы және төменгі сағалары іс жүзінде пайдаланылмайды.

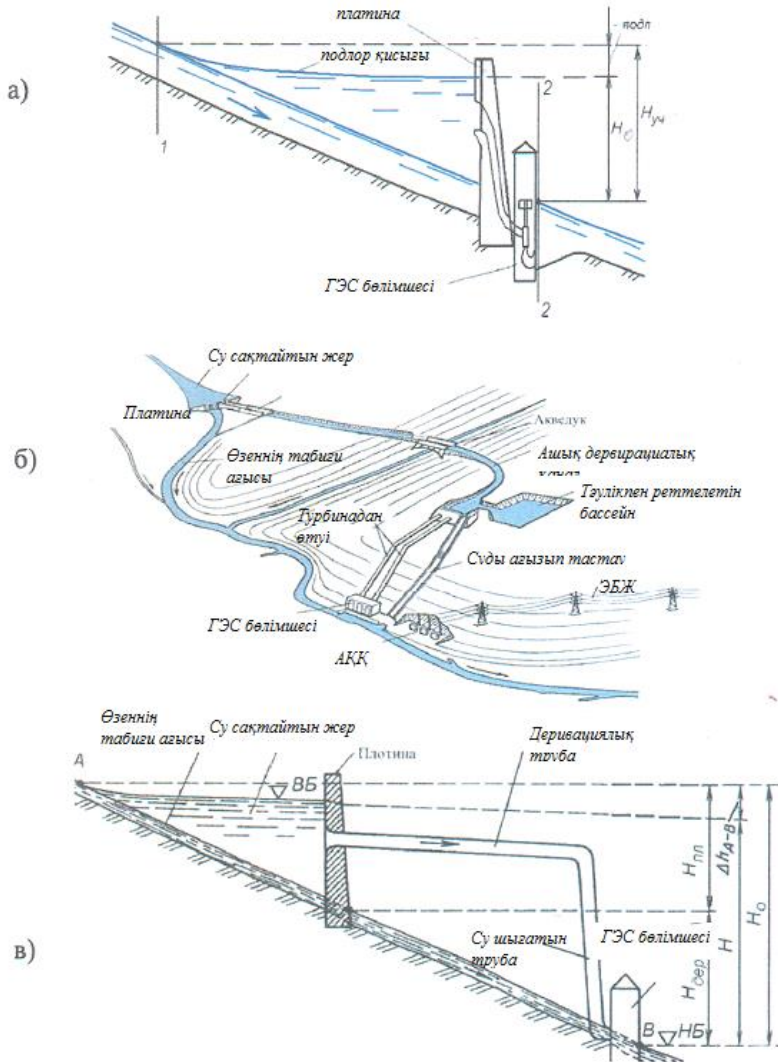
Экономикалық гидроэнергетикалық ресурстар – гидроэнергетикалық ресурстарға пайдаланғандағы оның экономикалық ақталатын бөлігі. Экономикалық гидроэнергетикалық потенциал әлеуметтік, экономикалық және экологиялық жағдайларға сәйкес өзгеріп отырады.

Жинақталған напорлы ГЭС салудың үш негізгі схемасы бар, олар су энергиясын пайдалану схемаларының аттарын беруге себепкер болған (8.1-сурет):

- напорлы плотинамен жасалатын плотиналық схема;
- канал, туннель немесе құбыр түрінде іске асырылатын деривация көмегімен түзілетін напоры бар деривациялық схема;
- напорлы плотинамен де деривациямен де түзілетін плотиналы-деривациялық схема.

Плотина барлық үш схемада да бар. Плотина арқылы өзен суы бөгіліп алынған су қоймасында концентирленген су напоры (қысымы) жасалынады. Өзен суы ағысының жылдамдығы жоғарғы бьефте азая бастағандықтан және үйкеліске кетер шығынның аздығынан напор концентрациясы туындайды. Жоғарғы бьеф терең және кең болса үйкеліс аз болып су беті жазық болады.

Су энергиясын плотиналық схемамен пайдалану (8.1, а-сурет). Бұл схема су шығыны көп және оның еркін бетінің еңісі аз болғанда іске асырылады. В пунктінде салынған плотина арқылы өзен бекітіледі де судың H_0 напоры жасалынады. Су тірегі плотинадан өзен бойымен жоғары А пунктіне дейін таралады. А мен В пункттері арасындағы су деңгейінің айырымы $H_0 + \Delta h$. Жинақталған деңгей құламасы, яғни напор – H_0 . Плотиналық схемада ГЭС ғимаратының орналасуына байланысты гидроэлектрстанция арналы немесе приплотиналы болуы мүмкін.



8.1-сурет. Жинақталған напорлы ГЭС салу схемасы:
а – плотиналық; б – деривациялық; в – плотина деривациялық

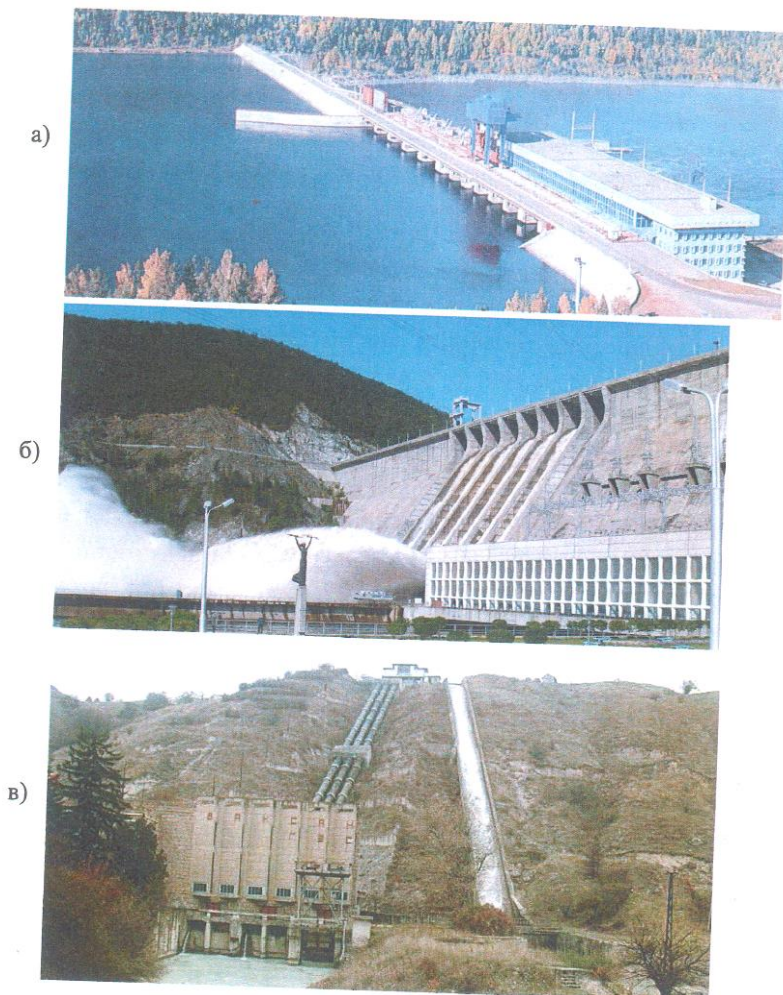
Егер ГЭС ғимараты плотинамен бірге напор туғызатын құрылыс құрамында болса, онда гидростанцияны арналы деп атайды (8.2, а-сурет). Бұл жағдайда ГЭС ғимараты жоғарғы бьеф жағынан келетін су напорына шыдайтын плотина секілді орнықтылық шартына сай болуы қажет. Арналы ГЭС напор 30–40 м болғанда салынады.

Турбина диаметрінен 6 немесе одан да көп есе асып түсетін орташа және үлкен напор кезінде ГЭС ғимараты напорлы фронт құрамына кірмейді. Бұл жағдайда приплотиналы ГЭС тұрғызылады, онда ғимарат плотинадан кейін салынады да судың толық қысым әсерінен аулақ тұрады (8.2, б-сурет). Мұндай ГЭС турбиналарына су плотинаның ішіндегі водоводтар немесе оның бетондық бөлігінің төменгі қыры топырақтан салынған плотинаның асты немесе плотинаны айналып өтетін туннельдер арқылы беріледі.

Жинақталған напор жасаудың деривациялық схемасына (8.1, б-сурет) бас және станциондық тораптардың бөлек орналасулары тән. Бас торап деривацияға су жіберуді қамтамасыз етеді. Оның құрамына әдетте төмен напорлы плотина, сужинаушы құрылыс немесе сужібергіш плотина, напорсыз типті суқабылдағыш құрылғы және жуатын галареяларымен қоса тұндырғыш кіреді. Деривация напорлы немесе напорсыз болуы мүмкін. Су ол арқылы станционды торапқа беріледі.

Напорсыз деривацияда станционды торап құрамына әдетте тәуліктік реттеу бассейні жанасатын напорлы бассейн, суқабылдағыш құрылыс, напорлы турбиналық водовод, агрегаттық ғимарат және суды бөліп тұратын канал кіреді. Егер деривация напорлы (туннель) болса, онда станциондық торап құрамына әдетте турбиналық водоводқа су жіберетін теңестіргіш резервуар кіреді. Бұл жағдайда напорлы бассейн және тәуліктік реттеу бассейні қарастырылмайды. Напорлы деривация су қоймасы толық пайдаланылатын жағдайда қолданылады.

Әртүрлі напор жасау схемалары бойынша салынған гидростанциялар 8.2-суретте көрсетілген.



8.2-сурет. Напор жасау схемасы әртүрлі гидростанциялар:
а – арналы; б – приплотины; в – деривациялы

Арналы ГЭС төмен напормен және ГЭС ғимаратының напор жасау фронтында орналасуымен сипатталады. Рельефінің созылып жатуына және кең аумаққа су жайылып кету қаупі барлығынан үлкен су қоймасын салу мүмкіншілігінің

болмауына сәйкес, мұндай ГЭС тек мезгілдік немесе толық жылдық емес реттеуді қамтамасыз ете алады.

Приплотиналы ГЭС орташа еңістігі бар өзендерде тұрғызылады. Бұл жағдайда едәуір реттеу мүмкіншілігі бар су қоймасын салуға болады. Қазақстанда көптеген ірі ГЭС – приплотиналылар.

Деривациялы ГЭС едәуір еңістігі бар тау өзендері бойында тұрғызылады. Су қоймасының немесе тәуліктік реттеу бассейнінің тәуліктік, кейде апталық реттеу сиымдылығы бар, ал напор ұзын деривация есебінде түзіледі.

8.2 Жел энергетикасы

Жел – жер айналуы мен күннің жер бетін біркелкі қыздырмауы салдарынан туындайтын ауа массасының қозғалысы.

Адам күнделікті өмірінде әрқашан табиғат күшін , оның ішінде әсіресе су мен жел күшін пайдалануға әрекеттенген. Жел энергиясы ең алғашқы рет желкенді кемелерде, ал кейінен бидайды ұнтақтау және су шығаруда пайдаланылған секілді. Тік айналу білікті алғашқы жел қозғалтқыштары осыдан екімыңдай жыл бұрын жасалғанға ұқсайды. Вавилондықтар оны батпақты құрғату үшін пайдаланған, ал Мысырда, Персияда және басқа таяу Шығыс елдерінде жел сушығарғыштар мен диірмендер тұрғызылған.

Қазіргі уақытта жел энергетикасын дамыту жолында Германия көш бастап отыр. Мұнда ЖЭҚ жасауға барлық федеральдық жерлердің 10 институты жұмылдырылып отыр. 1995 жылдан бастап Германияда жыл сайын жалпы қуаты 300–500 МВт ЖЭҚ іске қосылып жатыр.

Швецияда эксплуатациялық зерттеулер мен ЖЭҚ жасау туралы кең көлемді программа іске асуда. Программа негізінен мегаваттық кластағы ЖЭҚ жасауға бағытталған, соның ішінде Германиямен бірге 3 МВт құрылғылар жасалуда.

Канададағы Монреаль политехникалық институтында тік айналу білікті ЖЭҚ зерттеулер жалғасуда. Бірқатар осындай

компановкалы ЖЭҚ қуаты 4МВт болатын бір дана құрылғымен қоса қолданысқа берілген.

Австралияның Мельбурн университетінде, Ұлыбританияда ЖЭҚтік топсалы жиналмалы қалақшалы түріне зерттеу жүргізілді.

Біраз елдердегі (Дания, Италия, Жапония және т.б.) бірқатар ғылыми-зерттеу программалары айнымалы айналу жиілігімен жұмыс істейтін жел турбинасын реттеу мәселелеріне және оның ең артықшылығы – жел әртүрлі жылдамдықпен ұйытқып соққан кезде, одан алынатын қуатты ұлғайтудың экономикалық тиімділігін бағалауға арналған.

Кешен болып біріккен (фермалар, парктер секілді) жел энергия қондырғылары Жел электр станциясын құрайды (ЖЭС). ЖЭС көпшілігі басқа электржүйелерімен параллель жұмыс істейді.

Әлемдегі барлық жел электр энергиясының 95 % осы кешенді ЖЭС өндіріледі. Мұндай кешендер үлкен қуатты біріккен электрлік желілермен жұмыс істеу үшін ғана емес, сонымен бірге басқа да энергия көздерімен (резервтік немесе жинақтаушы) үйлескен өлшемді қуатты желілермен де бірге істеу үшін пайдаланылады.

Басқа энергия көздерімен (мысалы, дизельді электрстанция) немесе аккумуляторлармен қисындастырылған ЖЭҚ тұратын желэнергетикалық кешендер желдің күшіне, бар-жоғына карамастан автоном тұтынушыларды үзіліссіз энергиямен жабдықтауды қамтамасыз етеді.

Жел энергетикасын өнеркәсіптік өндірісте шығару үшін қолданылатын үлкен қуатты отандық қондырғылар жоқ. Ресейдің өзінде олардың санын саусақпен санауға болады. Ресейдегі энергетикалық стратегия институтының бас директорының орынбасары П. П. Безруков айтқандай: «... в производстве больших ветряков мы отстали от западных стран безнадежно». Сондықтан батыс елдерін қуып жету үшін бізге лицензияны сатып алу жолымен технологияны импорттап, олармен бірге бірлескен өндіріс орындарын құру қажет.

Жел энергетикасын дамытуда қайсыбір техникалық проблема ілесіп тұр. Жел – энергияның реттелмейтін көзі. ЖЭС

өнімділігі – үлкен тұрақсыздықпен ерекшелінетін фактор – желдің күшіне тәуелді. Осыған сәйкес электрэнергияны жел генераторынан энергетикалық жүйеге беру тәулік, апталық, айлық, жылдық, тіпті көпжылдық диапозондарында біркелкі еместігімен ерекшелінеді. Жел энергетикасы реттей алмайтын энергия жүйесінің өзінің біркелкі емес жүктемесі бар екенін ескерсек (тәулік графигіндегі пиктер және құламалар), энергия жүйесіне жел энергетикасының едәуір бөлігін енгізу – жүйені тұрақсыз етеді. Сондықтан жел энергетикасы, энергия жүйесінде резервті қуаттың болуын (мысалы газтубиналық станция түрінде), сонымен бірге ЖЭС шығарған энергияның біркелкі еместігін тегістейтін тетіктің болуын талап етеді, мысалы ГЭС немесе ГАЭС көмектерімен.

ЖЭҚ өндіретін энергияны аккумулярлеу (шоғырландыру), жел энергетикасындағы маңызды проблемалардың бірі. Оны шешу үшін тиімді және үнемді қондырғылармен қатар арнайы әдістемелер жасау қажет. Аккумулярлеуші қондырғылардың түрі мен сыйымдылығын таңдау, дұрысында, электржабдықтау сенімділігін оптимизациялау саласына жатады. Энергия көзі болатын желдің соғуы бірқалыпты емес өте құбылмалы болатындықтан, оның соғу режимін алдын ала дәл болжау қиын болғандықтан, көптеген жағдайда ЖЭҚ-ын аккумулярлеуші немесе қосалқы желдік емес қондырғылармен толықтыру қажет. Бұл әдістің артықшылығын және белгілі жағдайда қолдану ерекшелігін әрбір варианттарды техника-экономикалық салыстыру негізінде белгілейді.

ЖЭҚ өзіндік құны желдің соғуына тәуелді. Мысал ретінде 8.1-кестеде, АҚШ жағдайындағы осы тәуелділік көрсетілген (2004).

8.1- кесте

Жел электрэнергиясы өзіндік құнының жел жылдамдығына тәуелділігі

Жел жылдамдығы, м/с	Өзіндік құны, цент/кВт сағ
7,16	4,8
8,08	3,6
9,32	2,6

Салыстырып көрелік. АҚШ көмір электрстанциялары өндіретін электр энергиясының өзіндік құны осы жағдайда, 4,5–6 цент/кВт*сағ құрады, Қытайда электр энергиясының орташа бағасы 4цент/кВт*сағ. 1980 жылдың басында АҚШ жел электр энергиясының бағасы 38 цент/кВт*сағ болған.

Желгенерациясы қуатын екі есе өсірсе өндіретін электр энергияның өзіндік құны 15 %-ға төмендейді.

Ресей мен Қазақстанда ЖЭҚ күнделікті өмірде пайдаланудың маңызы аз деп есептейді және оны келесі себептермен түсіндіреді:

- бүкіл қондырғы бағасының 50 % құрайтын инвертордың қымбаттылығы (жел генераторынан алынған айнымалы және тұрақты тоқты 220 В, 50 Гц кернеуге айналдыратын және генератордың параллель жұмыс істеуін сыртқы желмен синхронизациялайтын құрылғы);

- бүкіл қондырғы бағасының 25 % құрайтын аккумулярлік батареялардың қымбаттылығы (электржабдықтау тоқтағанда тұтынушыны тоқтаусыз электр энергиясымен қамтамасыз ету көзі);

- электрмен сенімді жабдықтауды қамтамасыз ету үшін кейде ЖЭҚ-қа бағасы барлық қондырғылардың бағасындай болатын дизель-генераторды қоса пайдаланады.

Болса да Ресейдің ондаған өндірушілері өз өнімдерін жеке тұтынушыларға ұсынып отыр. Өкінішке орай Қазақстанда ЖЭҚ шығаратын өндірушілер әзірге жоқ. Баға шашыраңқы. Жел қозғалтқышы, дінгек, аккумуляторлар және кабельдері бар қуаты 5кВт қондырғының бағасы шамамен 11 мың доллар. Көп жағдайда 5 кВт қуат энергия мен тұтынуды қамтамасыз ете алмайды, сондықтан оны дизельді станциялармен бірге қолданады, бірақ бұл жалпы бағаны екі есе қымбаттады.

Жел энергиясының экологиялық аспектілері. ЖЭҚ басқа өнеркәсіп құрылғыларындай қоршаған ортаға қайсібір техногендік әсерін тигізеді. Бұл әсер ойлағандай бір мағыналы болып келмейді. Жел энергетикасын пайдаланудың артықшылығы сол, жел қондырғылары ешқандай атмосфераға жіберілетін зиянды заттарды шығармайды. Есесіне, дәстүрлі

жылу энергетиканың қайсыбір үлесін алмастыруына сәйкес, ауаға жіберілетін зиянды заттар мөлшері едәуір азаяды.

Дегенмен, нақты жұмыс істеп тұрған ЖЭҚ қолдану кезінде бірқатар теріс құбылыстар байқалады. Мысалы, жел генераторларын тарата орналастыру үлкен қуатты дыбыс тербелісін туғызады және телесигналдарды беруді қиындататындығы байқалған.

ЖЭҚ шудың екі түрін туғызады:

– механикалық шу (механикалық және электрлік компоненттер жұмысынан);

– аэродинамикалық шу (жел ағыны мен қондырғы қалақшалары арасында пайда болатын).

8.2-кестеде әртүрлі көздерден туындайтын шулардың деңгейлері келтірілген.

8.2-кесте

Әртүрлі көздер шығаратын шу деңгейі

Шу көздері	Шу деңгейі, дБ
Желдонғалағы өсіне жақын жердегі желгенератор шуы	Шамамен 100
Генератордан 350 м қашықтықтағы шу	35–45
250 м қашықтықтағы реактивті қозғалтқыш турбинасының шуы	105
Шой балғаның 7 м қашықтықтағы шуы	95
48 км/сағ жылдамдықтағы жүк автомобилінің 100 м аралықтағы шуы	65
64 км/сағ жылдамдықтағы жеңіл машина шуы	55
Офистегі шулық фон	60
Ауылды жердегі түнгі шу фоны	20–40
Адам құлағының ауыра бастауы	120

Жерді пайдалану. ЖЭҚ жел фермасының барлық территориясының тек 1 % бөлігін ғана алып жатыр. Қалған 99 %-ын бөлігінде ауыл шаруашылығымен немесе басқа да іс әрекеттермен айналысуға болады.

Желгенераторының жоғарыда айтылған әсерлерінен басқа құстар мен жануарларға тигізер зиянын да атап өту керек.

Шетелдік деректер бойынша ЖЭС маңайында құстарға қарағанда жарғанаттардың өсіп өнуі өте қиын.

Қазіргі желқозғалтқыштар жүйесі желдоңғалағының схемасына және оның жел ағынында жайғасуына сәйкес үш класқа бөлінеді.

Бірінші класс желдоңғалағы тік жазықтықта орналасқан желқозғалтқыштар; мұнда айналу жазықтығы жел бағытына перпендикуляр, яғни айналу осі горизонталь (көлденең) және жел ағынына параллель. Мұндай желқозғалтқыштарды қанатты немесе пропеллерлі деп атайды (8.3 және 8.4-суреттер).

Желдоңғалағының түріне және жүрдектігіне сәйкес қанатты желқозғалтқыштарды үш топқа бөледі:

- көпқалақты, жүрдектігі $Z \leq 2$ жай жүретін (жүрдектігі деп қалақша ұшы айналма жылдамдығының ωR желсоғу жылдамдығына V қатынасын айтады);

- азқалақты, жай жүретін, оның ішінде жүрдектігі $Z > 2$ жел диірмендері;

- азқалақты, жүрдекті ($Z \geq 3$).

Екінші класқа желдоңғалағының айналу осі тік желқозғалтқыштар жүйесі жатады. Конструктивтік схемалары бойынша олар екі топқа бөлінеді:

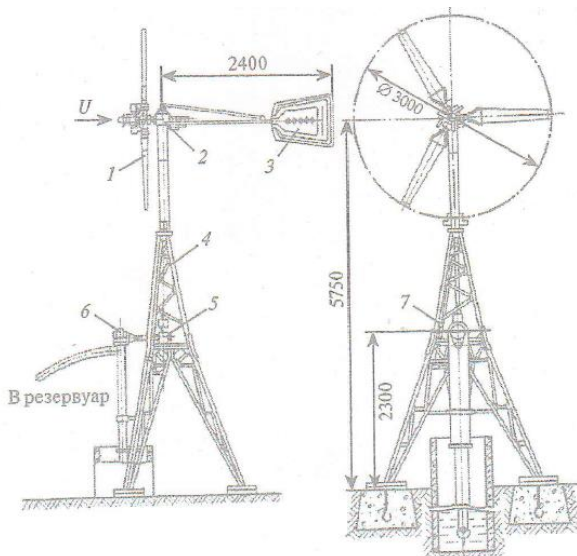
- карусельді (әткеншекті), олардың жұмыс істемейтін қалақшалары не кермемен жабылып тұрады, не желге қарсы қырымен орналасады;

- роторлы желқозғалтқыштар.

Үшінші класқа барабанды деп аталатын диірмен доңғалағы принципімен жұмыс істейтін желқозғалтқыштар жатады. Бұл желқозғалтқыштардың айналу осі горизонталь және жел бағытына перпендикуляр орналасқан.

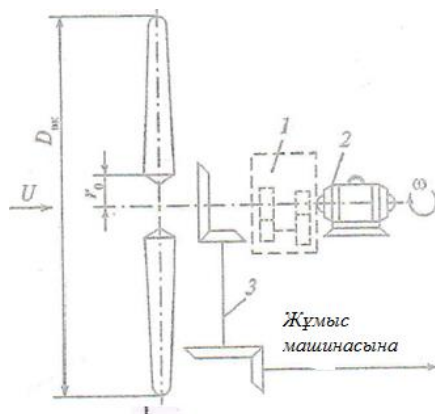
Карусельді және барабанды желқозғалтқыштар өздеріне тән кемшіліктеріне сәйкес кең тарамаған.

8.5-суретте желқабылдағыш қондырғылардың принципіал конструктивтік түрлері көрсетілген.



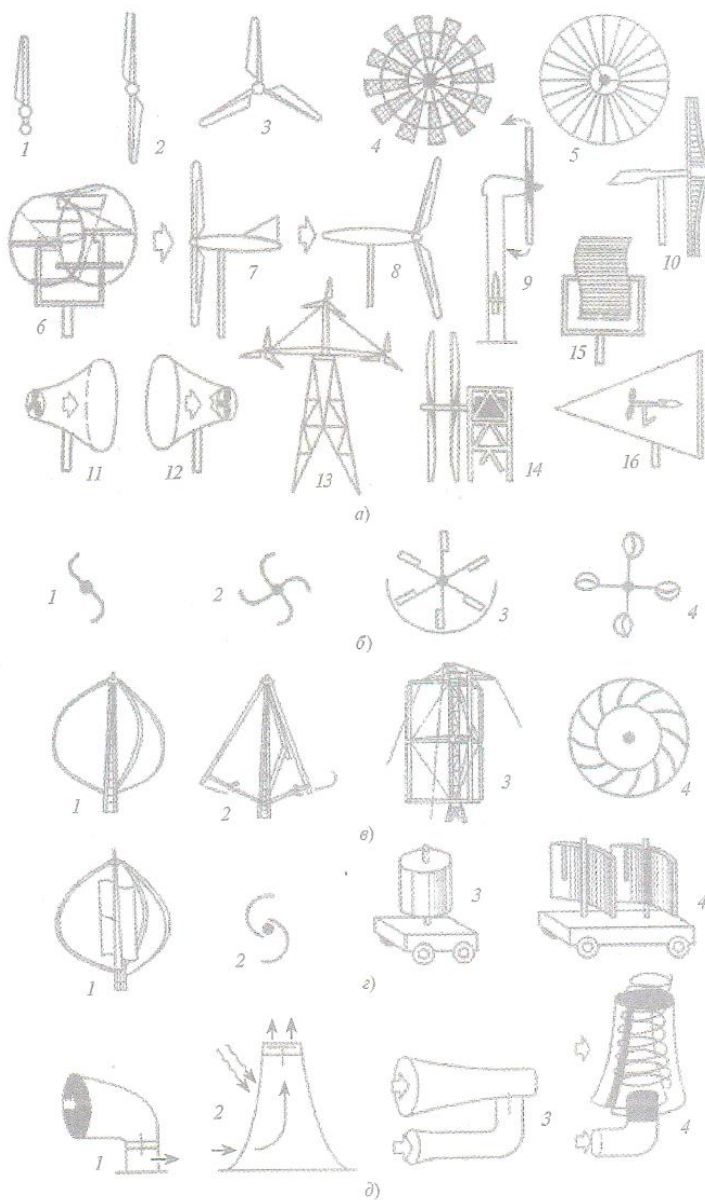
8.3-сурет. ВБЛ-3 желқозғалтқышы:

1 – желдоңғалағы; 2 – бүркеншік; 3 – құйрық; 4 – мұнара; 5 – төменгі редуктор; 6 – сушығарғыш; 7 – тұтқа



8.4-сурет. Айналу өсі көлденең қанатты желқозғалтқышының принципіалды схемасы:

1 – редуктор; 2 – генератор; 3 – тік білік;



8.5-сурет. Желқабылдағыш құрылғылардың түрлері:

а) көлденең осьпен айналатын:

1 – бірқалақты желдоңғалақ; 2 – екіқалақты; 3 – үшқалақты;
4 – көпқалақты; 5 – велосипедтүрлі көпқалақты; 6 – барабанды;
7 – ағынға қарсы бағытталған желдоңғалағы; 8 – мұнара артына
ағынға бағыттас орнатылған желдонғалақ; 9 – қуатты
пневматикалық беруші желдоңғалақ; 10 – желкенді қанат;
11 – диффузорлы желдоңғалақ; 12 – энергияны концентирлеушісі бар
желдоңғалақ; 13 – бірнеше желдоңғалақты; 14 – қарсы айналатын
желдоңғалақ; 15 – Савониус роторы; 16 – еркін құйын энергиясын
пайдаланатын желдоңғалақ;

б) қарсыласу күшін пайдаланатын тік осьпен айналатын:

1 – Савониус роторы; 2 – көпқалақты Савониус роторы;
3 – пластиналық ротор; 4 – табақшалы ротор;

в) көтеру көшін пайдаланатын тік осьпен айналатын: 1 – ϕ тәріздес
Дарье және Савониус роторлары; 2 – Δ тәріздес Дарье роторы;
3 – тік қалақты ротор (Giromill); 4 – желтурбинасы;

г) аралас түрлі тік осьпен айналатын: 1 – ϕ тәріздес Дарье және
Савониус роторлары; 2 – саңылаулы Савониус роторы; 3 – Магнус
эффектісін пайдаланатын ротор; 4 – негізгі беттермен;

д) тік осьпен айналатын басқа түрлері: 1 – дефлекторлы құрылғысы
бар желдоңғалағы; 2 – күн-жел құрылғысы; 3 – Вентури құбыры бар
желдонғалақ; 4 – құйынды құрылғысы бар желдоңғалағы

8.3-кестеде шамалас қуатты үш ЖЭҚ салыстырмалы
бағалануы келтірілген: NEW ECS–45 (Голландия), ВТО–1250 Б
(Ресей) және Д. де Рензо (АҚШ). Оның ішінде ВТО–1250 Б –
тік-осьті.

8.3-кесте

Әртүрлі ЖЭҚ салыстырмалы сипаттамалары

Сипаттамалары	NEW ECS-45	ВТО-1250 Б	Д.де Рензо
Белгіленген қуат, МВт	1	1,25	1,5
Желдің есептелген жылдамдығы, м/с	14,1	20	11,5
Массалық сипаттамалары:			
Желдоңғалақ соның ішінде:	–	40000	17430

8.3-кестенің жалғасы

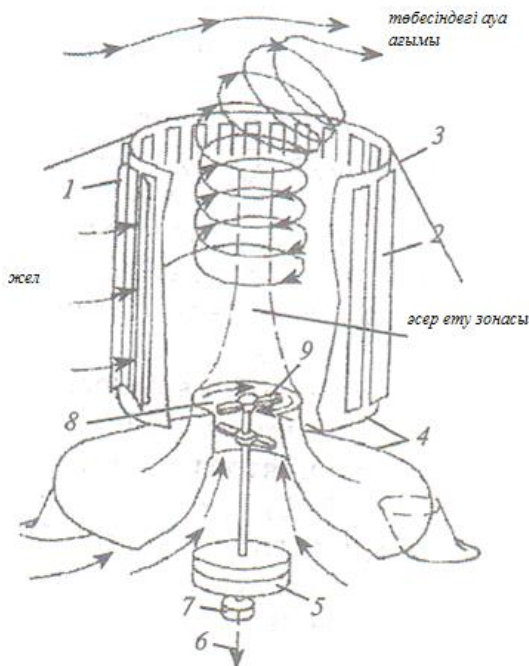
қалақ	3000	4000	2580
тығын	19000	8000	12270
траверс	—	16000	-
Момент беруші жүйе, соның ішінде:	—	16000	35180
редуктор	2000	10000	20860
басқалар	—	6000	14320
эл. жүйесі,	—	10000	—
соның ішінде:			
генератор	3000	5000	6950
мұнара	70000	70000	69360
Басқа жүйелер	—	6000	—
Жалпы масса, кг	142000	136000	128940

Келтірілген деректерден горизонталь-осьті пропеллерлі қондырғының желдоңғалағы жұмыстық органдарының (қалақша, траверс), вертикаль-осьтілердікінен жеңіл, ал олардағы төлкенің (втулканың) әлдеқайда ауыр екенін көруге болады. Трансмиссия білігі бар болса да тік-осьті құрылғылардың момент беру жүйесі жеңіл. Екі қондырғының да электрлік жүйелерінің және тірек мұнарасының массалары шамамен бір қатарда.

«Grummen Aerospace Corporation» фирмасы жасаған шектеулі құйындық жүйеде, торнадаға ұқсас құйын алу үшін осьтік желдоңғалағы үстіндегі шығыршыққа орнатылған мұнара пайдаланылады (8.6-сурет). Құйындық жүйе, желдоңғалағы үстіндегі ауаны сиретуді және ол арқылы өтетін ағынның жылдамдығын ұлғайтуды қамтамасыз етеді.

Осы секілді шектеулі құйындарды, желдоңғалағы үстіндегі шығыршыққа орналасқан, дөңгелек мұнара тәрізді, ағынды бағыттайтын және үйіретін әртүрлі құрылымдық қондырғыларда алуға болады.

Типтік жүйелерде мұнараның диаметрі желдоңғалағының диаметрінен 3 есе артық болуы мүмкін, ал мұнараның биіктігі оның диаметрінен 3 есе немесе желдоңғалағы диаметрінен 9 есе артық болуы мүмкін.



8.6-сурет. Желдің барлық бағытында істейтін мұнара түрлес құйынды құрылғы:

- 1 – реттелетін тік қалақшалар; 2 – қалақшалар жабық;
- 3 – қозғалмайтын якорьге бекітілген трос (растяжка);
- 4 – қозғалмайтын тіректі – бағыттаушы конструкция; 5 – маховик;
- 6 – генераторға беру; 7 – подшипник; 8 – турбинаның шығыстық қимасы; 9 – желдоңғалағынын қалақтары

Желгенераторлары желдің соғу жылдамдығы минимум 3–4 м/сек, максимум 25 м/с аралығында жұмыс істейді.

Сенімді энергетикалық және техника-экономикалық есептеулер жүргізу үшін ЖЭҚ жұмыс режимі, олардың өнімділігі мен электрэнергияны шығаруды болжауға қажетті желдің бұл өңірдегі соғу жылдамдығының өзгерісі, олардың хронологиялық барысы туралы деректер және басқа да бірқатар сипаттамалар пайдаланылады.

Бұл мақсат үшін *желэнергетикалық кадастр* құрылады: әр аймақтағы желдің энергетикалық құндылығын бағалауға мүмкіндік беретін, оны энергия көзі ретінде сипаттайтын, объективті дәл және қажетті сандық мәліметтер жиынтығы.

Жел энергиясын пайдалану үшін ең перспективті орын теңіз жағалауындағы аймақ. Теңіздерде жағадан 10–12 км қашықтықта жел фермасын салады. Желгенераторының мұнарасын 30 м тереңдікке қағып кіргізілген свай фундаментінің үстіне орналастырады. Басқа да жерасты фундаменттері, сондай-ақ қалытқы негізі де қолданылуы мүмкін.

8.3 Күн энергетикасы

Күн, басқа да жұлдыздар секілді балқып жатқан газ. Оның құрамының 82 % сутек, 17 % гелий, ал 1 % – басқа элементтер. Күннің ішінде температурасы 15–20 млн °C жоғары қысымды аймақ бар. Оттегі өте аз болғандықтан Күнде өтетін жану процестері байқалмай өтеді. Күннің орасан зор энергиясы сутек пен гелий элементтерінің синтезі есебінен жинақталған.

Жер қойнауында 6 трлн т.ш.о. әртүрлі көмірсутек бар деп саналады. Яғни бұл отындардың барлық энергиясын Күн үш апта ішінде бере алады және оның энергиясының көптігі соншама, ол бүгінгі таңда сәуле тарату екпінімен әлі де 5 млрд жыл энергия бере алады.

Күн сәулеленуі – мөлдір ортада электрмагниттік толқынның таралуы кезінде энергияны тасымалдау процесі.

Жер мен Күннің арасы шамамен 150 млн шақырым. Күннің жарығы түсетін Жер бетінің ауданы шамамен $500 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. Күн радиациясының тасқыны әртүрлі бағалауларға сәйкес жылына $(7,5\text{--}10) \cdot 10^7 \text{ кВт} \cdot \text{сағ/жыл}$ немесе $(0,85\text{--}1,2) \cdot 10^4 \text{ кВт}$, ал бұл барлық жаңғырылатын энергия көздерінің ресурстарынан әлдеқайда көп.

Жер бетіне түсетін күн сәулеленуінің шамасы әртүрлі. Оның максимал жылдық мөлшері $2200 \text{ кВт} \cdot \text{сағ/м}^2$, АҚШ солтүстік-батысында, Оңтүстік Америка батысында, Африканың оңтүстігі мен солтүстігінің бірқатар бөліктерінде, Сауд Аравиясы мен Австралияның кейбір аймақтарында байқалады. Ресей мен Қазақстан күн сәулеленуі жылына 800-ден

1400 кВт·сағ/м² аралығында болатын аймақтарда орналасқан және бұл жерлердегі күн жарқырауының ұзақтығы жылына 1700-ден 2000 сағат аралығында болады. Аталған мәндердің максимумы Жер бетінде жылына 3600 сағатты құрайды. Жыл бойына Қазақстан мен Ресейдің территориясына түсетін Күн сәулесінің энергиясы осы елдердегі барлық мұнай, көмір, газ және уран ресурстарының энергиясынан артық.

Жерге түсетін Күн энергиясының 34 %-ын өсімдіктер мен теңіз балдырлары пайдаға асырады, ал қалғаны, комфортты өмір сүруге ықпал ететін Жер бетіндегі және мұхит тереңдігіндегі микроклиматты ұстап отырғаны болмаса, текке шығын болып жатыр. Егер осы шығынның ең болмаса бір процентін іске жарата алсақ, ресурстар тапшылығы проблемасын бірнеше ғасыр алдын ала шешуге болар еді.

Күн сәулеленуі энергиясының көзі – термоядролық реакция. Әр секунд сайын Күндегі $6 \cdot 10^{11}$ кг сутек гелийге айналады. Бұл кездегі масса дефектісі 4000 кг, яғни Эйнштейннің $E=mc^2$ формуласы бойынша, бұл $4 \cdot 10^{20}$ Дж (шамамен $110 \cdot 10^{12}$ кВт·сағ) энергия шығарады.

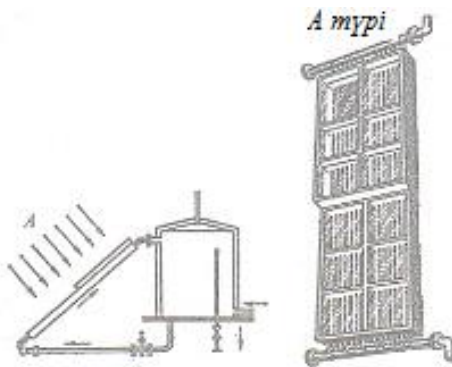
Әр жердің географиялық орны мен жыл мезгіліне сәйкес күн радиациясы мөлшерінің де едәуір айырмашылығы бар, сондықтан оны Күн энергиясын пайдалануды жобалаған кезде міндетті түрде есепке алу қажет.

Күн энергиясын адам әр түрінде әркезде өз пайдасына қолданған. Бұл проблеманың ғылыми негізін салушы Альберт Эйнштейн – Нобель сыйлығының 1921 жылғы иегері. Көбіміз ол бұл сыйлықты салыстырмалық теория үшін алған деп ойлаймыз, ал шын мәнісінде ол бұл сыйлықты сыртқы фотоэффект заңдылығын түсіндіргені үшін алған. Ол сонау 1905 жылы Планк гипотезасына сүйене отыра, қалай және қандай мөлшерде сәуле кванттары электрондарды металдан «қуып» шығаратынын жазған еді.

1970 жылдардың ортасында күн элементтерінің п.э.к. 10 % мөлшеріне жетіп, осы мәнде жиырма жылдай өзгермей тұрды. Бұл космос аппараттарына жеткілікті болды да, оны жербетіндегі өндірістерде, жағатын арзан мұнай тұрғанда қолдану, кешірілмейтін ысырапшылық болып саналды. Осының

салдарында КСРО және басқа елдерде де күн элементтерін жасау бойынша зерттеу жұмыстары тоқталып, қалғандарына деген қаржылау едәуір қысқартылды. 1990 жылдары Нобель сыйлығының лауреаты Ж. Алферов бастаған топтың жұмыстары нәтижесінде, күн элементтері п.э.к. 15 %-ға дейін, ал 2000 жылдың басында 20 %-ға дейін көтерілді.

Қазақстан мен Ресейде кең тараған жазық күн жылытқыштар, Күн сәулеленуінің (КС) тік және диффузды құрамдарын пайдаланады. Мұндай КК, КС қарсы сырт жағы және бүйірі жылылықты өткізбейтіндей етіп қапталған қапшық түрінде болады (8.7-сурет). Ішінде жылутасымалдағыш жүретін жылусіңіретін каналдар орналасқан. КК үстіңгі жағы жарық өткізетін материалмен жабылған. Сутасымалдағыштың циркуляциясы арнайы кішкене насос көмегімен еріксіз немесе ыстық және су столбылары арасындағы қысым айырымының нәтижесінде өз еркімен іске асырылады.



8.7-сурет. Күн суқыздырғыш

Күн энергиясын түрлендіру үшін термодинамикалық (жылулық), фотоэлектрлік және химиялық әдістер қолданылады.

Фотоэлектрлік генераторлардың ішінде ең тиімдісі өткізгіш пен жарықсезгіш жартылай өткізгіш (мысалы, кремний) арасындағы немесе әртүрлі өткізгіштер арасындағы шекарада туындайтын электрқозғағыш күшке (ЭҚК) негізделгендері.

Фотоэлектрлік немесе күн элементтері тиімді жұмыс істеу үшін олар бірқатар шарттарды қанағаттандыруы қажет:

- күн жарығы энергиясының елеулі бөлігін жұтуды қамтамасыз ету үшін жартылай өткізгіштің активті қабатының оптикалық жұту коэффициенті едәуір үлкен болуы қажет;

- жарық түскенде шығатын электрондар мен тесіктер (дырки) активті қабаттың екі жағындағы контактілік электродтарда тиімді түрде жинақталулары тиіс;

- күн элементі жартылайөткізгіш өткелінде бөгеттің елеулі биіктігі болуы қажет;

- жұмыс кезіндегі қуат шығынын (джоульдік жылу) азайту үшін күн элементіне тізбектеле қосылған толық кедергі (жүктеменің кедергісімен бірге) аз болуы қажет;

- қысқа қосылу мен шунттық кедергінің элемент сипаттамаларына әсерін болғызбау үшін, күн элементінің барлық аймағындағы жұқа пленканың құрылымы біркелкі болуы қажет;

- кеңінен қолданылуы үшін күн элементінің бағасы жарамды болуы тиіс.

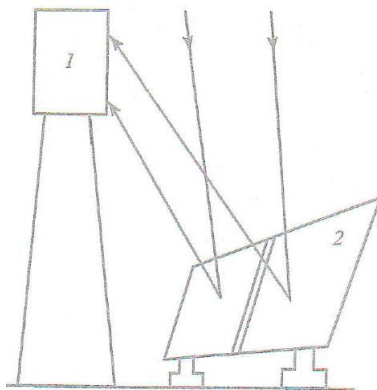
Келтірілген шарттарға сәйкес келетін монокристалл кремний негізінде жасалынатын құрылым күрделі және қымбат технологиялық процесс. Сондықтан аморфты кремний негізіндегі қоспа, галлий арсениді және поликристалды жартылай өткізгіштер секілді материалдарға көп көңіл аударылды.

Негізінен электрэнергиясын шығаратын КЭС екі түрі бар:

- фотобатареялар көмегімен күнсәулелігін тікелей электрге түрлендіретін;

- турбоагрегат турбинасын айналдыратын ыстық сумен буды алу үшін күн радиациясын пайдаланатын.

Мұнара тәріздес (8.8-сурет) КЭС күн радиациясын пайдалану арқылы су буын алу принципіне негізделген.

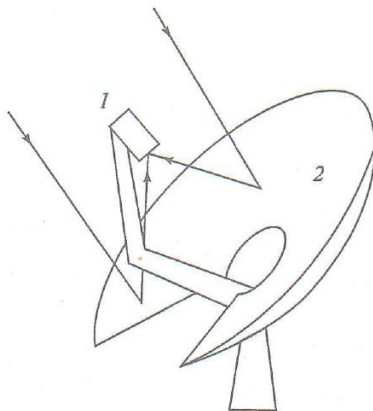


8.8-сурет. Мұнара тәрізді КЭС принципіалды схемасы:

1 – қабылдағыш; 2 – гелиожинақтағыш

Станцияның ең ортасында төбесінде су құйылған резервуар қойылған биіктігі 18–24 м (қуаттың және басқа параметрлердің мөлшеріне сәйкес басқадай да болуы мүмкін) мұнара орнатылған. Резервуар жылуды жұту үшін қара түске боялған. Мұнарада одан бөлек тұрған турбогенераторға бу беретін насостар тобы орналасқан. Мұнара айналасында, біраз қашықтықта гелиостаттар – айналар орналасқан. Барлық айналар ортақ позиционирлеу жүйесіне қосылған, яғни күннің тұрған орнына сәйкес кеңістікте бұрылу бағытын өзгертіп отырады. Күн көзі жарқырап тұрған кезде резервуардағы судың температурасы 700 °С жетеді. Мұндай параметрлі температура көптеген дәстүрлі электрстанцияларында пайдаланылады. Сондықтан мұнара тәріздес КЭС-те электрэнергияны алу үшін стандарт турбиналар қолданылады. Нақтысында мұндай КЭС арқылы шамамен 20 % п.э.к. және әжептәуір үлкен қуат алуға болады.

Тәрелке тәрізді КЭС (8.9-сурет) электрэнергиясын шығару принципі мұнаралық КЭС секілді болғанымен, станцияның өзінде конструктивтік ерекшеліктер бар.



8.9-сурет. Тәрелке тәрізді күн сәулеленуін жинақтау схемасы:

1 – қабылдағыш; 2 – жинақтағыш

Бұл гелиожүйелер парабола тәріздес айна тәрелкелері (спутниктік тәрелкелер секілді) формасында радиаль орнатылған батареялардан тұрады. Әрбір айна тәрелкелерінің фокусты нүктесінен күн сәулесі шағылысып, қабылдағышта күннің энергиясы шоғырланады. Әр айнаның диаметрі 2 м, ал саны модуль қуатына байланысты бірнешеге жетеді. Бұл станция бір модульден немесе ондаған модульден тұруы мүмкін. Қабылдағыштағы сұйықтың температурасы $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа жетеді және қозғалтқыш пен генератордан тұратын қабылдағышпен жалғасқан кішкене құрылғы арқылы электрэнергия шығаруға пайдаланылады.

Фотобатареялар қолданатын КЭС. Мұндай күн станциялары қазіргі кезде бәрінен де көп тараған. Жалпы жағдайда олар бірнеше әртүрлі қуатты және параметрлі жеке модульдерден (фотобатареялар) тұрады да, кіші және ірі объектілерді энергиямен қамтамасыз ету үшін қолданылады. Ең алғашқы КЭС-тің біреуі қуаты 5 МВт фотоэлементті станция Қырымда (КСРО) салынды. Бұл станция көп жыл жұмыс істеп болашақта саланың дамуы үшін көп құнды деректер берді.

КЭС кейбір түрлерінде, техникалық қажеттілікке және жылы сумен жабдықтауға арналған жылы су алатын

жылуалмастырғыш қондырғыларды қосымша орнатады. Бұл жағдайда комбинирленген КЭС аламыз. Комбинирленген КЭС бір варианты – бір алаңға концентраторлар мен батареяларды бірге орналастыру.

Бүгінгі таңда күн энергиясын әрі қарай дамыту жұмыстарымен көптеген елдер тығыз айналысып жатыр. Күн энергетикасын дамыту программасы әлемнің 68 елінде қабылданды.

8.4. Жаңғыртылатын энергия көздерінің басқа түрлері

Геотермальды энергетика. Геотермика («гео» – «жер», «термо» – «жылу») – жер қойнауы мен жалпы Жердің жылулық күйін және оның геологиялық құрылымға, тау жыныстарының құрамына, магматикалық процестерге және басқа факторларға тәуелділігін зерттейтін ғылым.

Осыған сәйкес, геотермальды жылуды қолданатын энергетика саласын геотермальды энергетика дейді.

Жер шарының жылулық критеріі Жер жылуының шығынын талдауға мүмкіндік беретін температураның беттік градиенті. Тереңдеген сайын жердің температурасы 1°C -қа көтеріліп отыратын, метрмен өлшенген шаманы – геотермиялық саты деп атайды. Геотермиялық сатының орташа мәні 33 м, және тұрақты температура аймағынан әрбір 33 метрге тереңдеген сайын температура 1°C өсіп отырады.

Жер бетінің кез келген нүктесінде қайсыбір тереңдікте, термальды су (гидротерма) бар тау жыныстарының пласты жатыр. Сондықтан жер қыртысында, «геотермальды қабық» деп шартты түрде аталатын аймақты бөліп алуға болады. Ол жер шарының барлық жерлерінде әртүрлі тереңдікте орналасқан. Осы заманғы вулканизм ауданында гидротермальды қабық кейде жердің бетіне шығады. Мұнда тек ыстық су көздерін қайнаған грифондар мен гейзерлерді ғана емес, сонымен қоса температурасы $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$ және одан да жоғары бугазды шапшуды да көруге болады.

Термаль суының пайда болуы жылу ошақтарының іс-әрекетімен байланысты, көбінесе су жыныс қыртыстарының

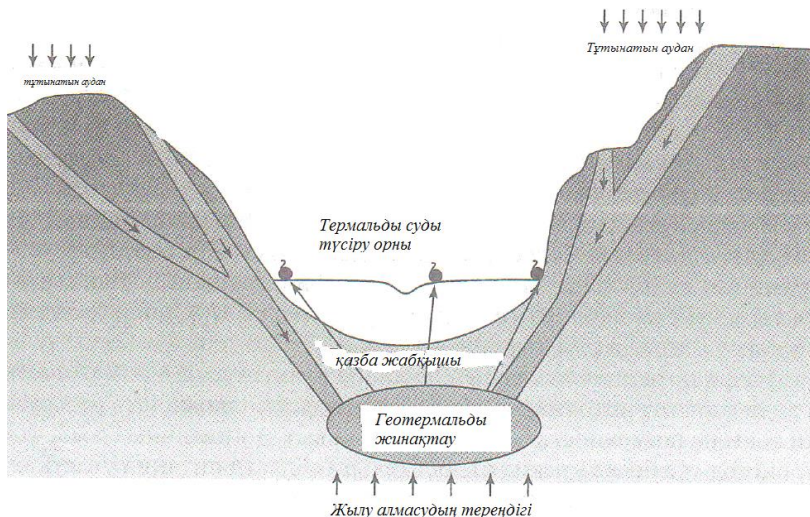
арасымен жылу көзіне дейін өтіп ұзақ жолмен ағады да бірте-бірте жыныстардың жылуларын өзіне сіңіріп алады.

Суу кезіндегі балқыған магма судың сұйық фазасы мен жылу үшін ортақ көз болуы мүмкін. Қатты қайнаған су бу шаптыруы түрінде, газ бен жеңілұшатын компоненттермен бірге жоғарғы суық қабатқа қарай лап береді. Температура 425–375 °C болғанның өзінде бу конденсацияланып, бойында көптеген жеңілұшқыш компоненттер еріген сұйық суға айналады – осылай геотермальды ертінді «ювениль» (алғаш) пайда болады.

«Ювенильді» судың тікелей қарама-қарсысы, инфильтрлеу арқылы алынған су. Егер «ювенильді» су балқыған магмадан бөлініп жоғары көтерілсе, инфильтрлі су жоғарғы беттен төмен, тереңге қарай жылжиды. Бұл судың көзі жауын-шашындар мен жер бетіндегі су қоймалары. Жыныстар арасындағы саңылаулар немесе жарықтар арқылы бұл су тереңдегі көкжиекке қарай сіңеді (инфильтрленеді). Ол жол-жөнекей әртүрлі тұздармен қанығады, жерасты газдарын ерітеді және суөткізгіш жыныстардың жылуымен ысыды.

Инфильтрлі сулар жер бетіне ыстық су көзі ретінде ағып шыға алады. Бұл кезде су термальды болып қала беруі үшін оның су бетіне ағып шығуы өте жылдам өтуі қажет, мысалы, сынықтың кең жарықтары арқылы. Баяу көтерілген жағдайда гидротерма суып қалады, себебі оның ыстығын жол-жөнекей жыныстар сорып алады. Дегенмен 3–4 мың метр скважина қазылып термальды судың тез көтерілуі қамтамасыз етілсе, температурасы 100 °C термаль суын алуға болады. Мұның бәрі жанартау аудандарға емес, тек орташа геотермиялық көрсеткіштері бар аймақтарға тән. 8.10-суретте инфильтрлі суы бар кен орнының принципиял схемасы көрсетілген.

Термальды судың жанартаулы (вулканды) түрін ерекше қарастыру қажет. Жанартаулы аймақтағы ыстық су көздерін толықтай «ювенильді», яғни магмалық деп санауға болмайды. Көптеген зерттеу тәжірибелері көрсеткендей, жанартау термиялық сулары беттік инфильтрлік сулар. Гейзерлерден басқа гидротермнің жанартаулық түрлеріне батпақты грифондар мен қазанды, шапшыған бу мен газ фумаролын жатқызуға болады.



8.10-сурет. Геотермал кенорнының принципалды схемасы

Термальдық судың барлық түрлерін термальды энергетикада іс жүзінде пайдалануға болады: қайнаған су – электрэнергия өндіруде, тұщы термальды су – үй-жайды жылумен қамтамасыз ету үшін, тұщы су – бальнеологиялық мақсатта, тұздықтар – өндірістік шикізат ретінде.

Геотермальды кен орындары қазір әлемнің 80 елінде барланған және оның 56-сында Жердің жылу энергиясы екпінді пайдаланылуда. Оны пайдаланудағы бүкіләлемдік көлемнің 10 % Ресейдің үлесінде.

Қазіргі кезде геотермальды энергия негізгі екі бағытта пайдаланылады: жылумен жабдықтау және электр энергиясын алу. Әлемнің көптеген елдерінде жылу және электр энергияларын тек жекелеп алуға емес, сонымен бірге олардың комбинирленген түрін шығаратын, талапқа сай бірқатар технологиялар мен тиімді жабдықтар жасалынған.

ГеоЖЭС-тің дәстүрлі ЖЭС-ке қарағанда біраз ерекшелігі бар:

– ГеоЖЭС жабдықтарының толық белгіленген қуаттарын пайдалануды қамтамасыз ететін тұрақты артық энергоресурстың болуы;

– автоматтандыру жүйесінің қарапайымдығы;

– мүмкін болар апаттың кесірі тек станция аумағымен ғана шектелуі;

– басқа жаңғыртылатын энергия көздерін пайдаланатын энергожүйелерге қарағанда, меншікті ақша қаражатын жұмсау мен электрэнергияның өзіндік құны төмен.

– ГеоЖЭС үш негізгі түрге бөлінеді:

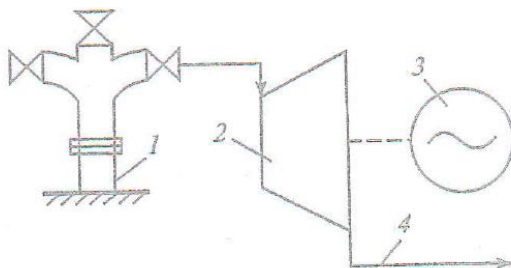
– құрғақ бу кен орындарында істейтін станциялар (8.11 және 8.12- суреттер)

– ыстық су кен орындарында қысыммен жұмыс істейтін сепараторлы станциялар (8.13-сурет)

– геотермальды жылу екіншілік сұйыққа (мысалы, фреон немесе изобутан) беріліп Ренкиннің классикалық циклі орындалатын өндірістің аралас схемалы (бинарлы циклмен) станциясы (8.14-сурет)

Қарапайым бу станциясы (8.11-сурет) көбінесе гидротермальды бумен жұмыс істейді. Бұл ең жай қолайлы геотермальды энергоқондырғы.

Бу скважинадан генератормен жалғасқан турбинаға беріледі. Кейіннен бу тікелей немесе химиялық бағалы заттарды сүзіп алатын құрылғы арқылы атмосфераға шығып кетеді. Қарсықысымды турбинаға екіншілік буды немесе сепаратордан алынған буды беруге болады. Бұл схема бойынша электрстанция конденсаторсыз жұмыс істейді, сондықтан конденцирленбеген газды конденсатордан айдап шығару үшін қолданылатын компенсатордың қажеттілігі жоқ. Бұл қондырғы ең қарапайым және оның пайдалану шығындары өте аз. Ол көп жер алмайды және қосымша жабдықтарды қажет етпейді. Қарсықысымды турбогенераторлы қондырғылар табиғи жылу тасымалдауыштарда болатын химиялық заттарды өнеркәсіптік пайдалануға кедергі жасамайды.



8.11-сурет. Табиғи буды тікелей пайдаланатын ГеоЖЭС схемасы:
1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – атмосфераға немесе
химия зауытына шығу

Геотермаль буын пайдалану қазбалы отындарды жағудан, тасымалдаудан және сақтаудан бас тартуға мүмкіндік береді. ГеоЖЭС мұндай түрі ескіден бері келе жатыр: әлі де жұмыс істеп тұрған алғашқы ГеоЖЭС 1904 жылы Италияның Тоскано провинциясында Пиза қаласының маңайындағы Лардерелло жерінде салынды. 1920 жылы Жапонияда, 1950 жылдары – Жаңа Зеландия мен Мексикада, біраз кейінірек АҚШ-та, Қытайда, Индонезияда және т.б. елдерде ГеоЖЭС салына бастады.

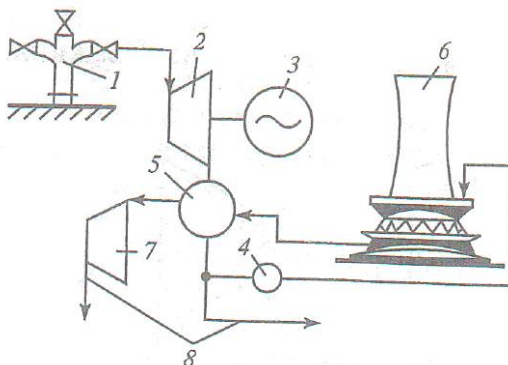
Осындай типті ГеоЖЭС жетілдірілген варианты – табиғи буды тікелей пайдаланатын конденсациялы турбиналы станция (8.12-сурет).

Бу скважинадан турбинаға беріледі. Турбинада пайдаланылған ол кейін араластырғыш конденсаторға келіп түседі. Суытушы су мен турбинада пайдаланылған бу конденсаты қоспасы конденсатордан жерастындағы бакқа шығарылады, одан циркуляция насосымен сорылып, суытылу үшін градирняға бағытталады. Градирнядан суытылған су конденсаторға ағып келеді.

Қысымды ыстық су кен орындарында істейтін сепараторлы ГеоЖЭС кең тараған (8.13-сурет).

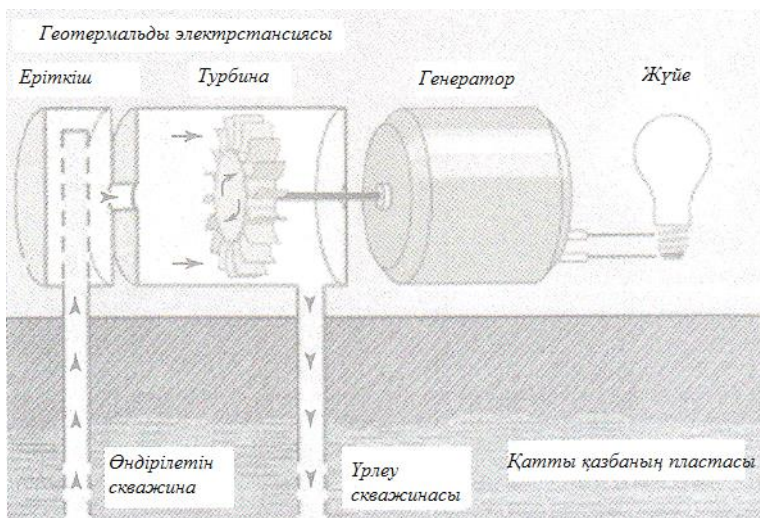
Мұндай электрстанцияларда электрэнергиясын өндіру үшін ыстық гидротермалар (температурасы 180 °C-ден жоғары) қолданылады. Қысымды төмендету үшін гидротермальды ерітінді буландырғышқа сықап толтырылады (нагнетанием), осыған сәйкес ертіндінің бір бөлігі буланады. Алынған бу

турбоагрегаттың турбинасын іске қосады. Егер буландарғыштан кейін сұйық қалса, ол ПЭК мен қуатты көбейтетін келесі буландырғышта булануы ықтимал.



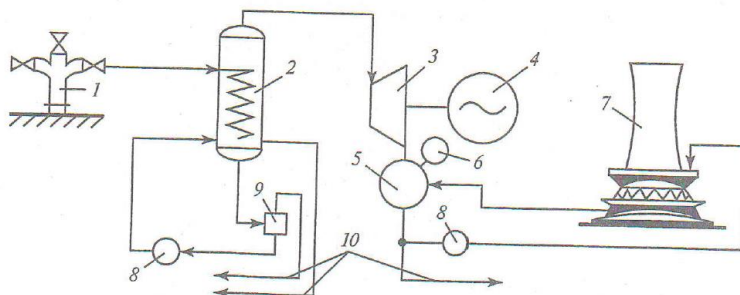
8.12-сурет. Конденсациялы турбиналы және табиғи буды тікелей пайдаланатын ГеоЖЭС схемасы:

1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор;
6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сыртқа шығару



8.13-сурет. Бугидротерма ГеоЖЭС схемасы

Бүтүрлендіргіш ГеоЖЭС (8.14-сурет) екіншілік бумен істейді.



8.14-сурет. Бүтүрлендіргішті геотермальды электрстанцияның схемасы (бинарлы ЭС):

1 – скважина; 2 – бүтүрлендіргіш (жылуалмастырғыш); 3 – турбина;
4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – вакуум насосы; 7 – градирня;
8 – насос; 9 – дегазатор; 10 – сыртқа шығару

Табиғи бу немесе судың бумен араласы жоғарытемпературалы және құрамында газ көп болған жағдайда бұл станциялар өте пайдалы. Станцияның жұмыс істеу схемасы: табиғи бу (немесе су мен бу) бүтүрлендіргішке түсіп, өзінің қызуын екіншілік жылу тасымалдағышқа береді, осыдан кейін таза екіншілік бу конденсациялық турбинаға бағытталады. Пайдаланылған табиғи бу конденсаторға беріледі. Конденсирленбеген газдар бүтүрлендіргіште бөлініп атмосфераға шығарылады немесе химия заводына жіберіледі. Бинарлы геотермаль электрстанциясы табиғи жылу тасымалдауыш құрамындағы барлық химиялық заттарды, жүйенің тұйықтығының арқасында толық пайдалануға мүмкіндік береді.

Орташа температуралы термальды су, геотермальды ресурстың ең көп тараған түрі, сондықтан жаңадан салынып жатқан ГеоЖЭС бинар принципімен жұмыс істейтін болады.

Қазбалы отындармен істейтін ЖЭС қарағанда, ГеоЖЭС атмосфераға аз күкірт шығарады, ал азот тотығын мүлде шығармайды. Оған қоса олар көп жерді алып жатпайды. Сонда да геотермаль көздерді өнеркәсіптік пайдаланудың теріс жақтары да бар. Геотермальды су құрамында аз мөлшерде

қауіпсіз (әртүрлі металдар тұзы, күкіртсутек) және зиянды (мышьяк, бор) коспалар бар. Оған қоса көмірқышқыл газ, метан, аммиак бөлініп шығады, ал жербетіне шыққан көпмөлшерлі су, станция салынған аймақтағы топырақты, жерасты суларының сапасын нашарлатуы мүмкін (батпақтану, сортаңдау).

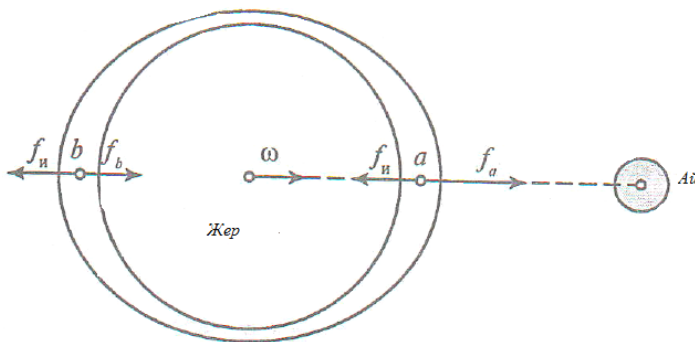
Бүгінгі кезде геотермальды электрстанциялар жер жүзінің көптеген елдерінде 12 000 МВт жалпы қуатпен жұмыс істеуде.

Геотермальды энергияны тек электр, жылу энергияларын алу үшін емес, сонымен бірге бақшаларды суару, ағаштарды кептіру, құрылыстарда және басқа да жерлерде қолдануға болады.

Мұхиттың жаңғыртылатын энергия балансы. Әлемдік мұхит бетінің ауданы 360 млн км^2 және ол планета бетінің 7 % алып жатыр. Осы беттің үлкен бөлігінің беті ашық (мұзсыз), сондықтан күн сәулеленуін жақсы сіңіреді.

Мұхит пен Жер бетіндегі кейбір аймақтардағы әртүрлі температуралар әсерінен ауа және су массаларының қозғалыстары пайда болады (жел, мұхит ағындары).

Судың көтерілу және қайту энергиясы. Судың деңгейі теңіз жағалауында тәулік ішінде бірнеше рет өзгеріп отырады. Бұл құбылыстардың негізгі периодтары – ұзақтығы 24 сағ маңайында – тәуліктік және ұзақтығы 12 сағ 25 мин болатын – жартытәуліктік. Мұндай құбылыстар көбінесе шығанақтар мен теңізге құятын өзендер сағасында байқалады. Ескі гректер су деңгейі тербелісін өзен құдайы Пасейдонның ісі деп түсіндірген. XVIII ғасырда атақты ғалым, ағылшын физигі Исаак Ньютон теңіз суының көтерілу және қайту құпиясын тапты. Жер-Ай-Күн жүйесінің бір-бірімен әрекеттестік космостық күші дүниежүзілік мұхиттың орасан зор су массасын қозғалысқа келтіреді (8.15-сурет). Нәтижесінде Жердің бір аймағында әр 12 сағ 25 мин сайын, ал басқа бір аймағында 24 сағ 50 минуттан кейін судың көтерілу толқыны жағаны жауып, ондағы су деңгейін бірқалыпты көтереді. Жер-Ай-Күн бір тұзу бойында орналасқанда, теңіз суы тербелісінің амплитудасы максимумға (сизигия) жетеді, ал оның минимумы (квадратурасы) бұл космостық денелер құратын үшбұрыштың сүйір ұштарына орналасқанда болады.

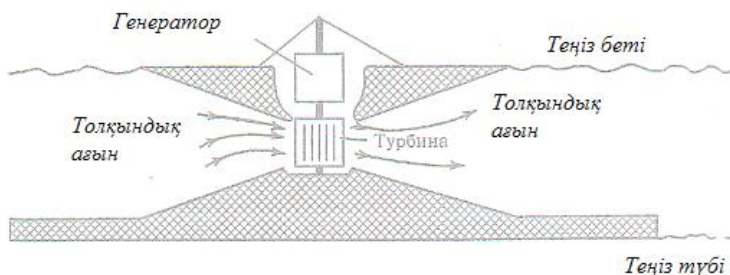


8.15-сурет. Көтерілу деңгейіне Айдың әсер ету схемасы:
 ω – Айдың тартуы туғызатын Жер үдеуі; f_n – инерция күші;
 f_a, f_b – су бөлшектерін Айдың тарту күші $f_b < f_n < f_a$

Мұхит энергиясын электр шығаруға пайдалану үшін приливті (судың көтерілуі) электрстанциялары (ПЭС) қажет.

Су көтерілу энергиясын пайдалануда екі тәсіл бар. Біріншісі теңіз деңгейінің циклдік өсуін және түсуін пайдалану, екіншісі – жел энергиясын қолданғандай жергілікті су тасығандағы ағысты пайдалану.

Ең жиі пайдаланатыны бірбассейнді схема. Онда өзен сағасында немесе шығанаққа ішіне гидроагрегат салынған плотина (бөгет) тұрғызылады (8.16-сурет). Плотинадан кейін су көтерілгенде толтырылатын бассейн жасалған.



8.16-сурет. Көтерілу ағысындағы электрстанцияның схемасы

Мұндай ПЭС бір бағытта да және екі бағытта да жұмыс істейтіндей етіліп салынады. Бір бағытта істейтін станцияның жұмыс режимі (циклі) мынандай: су көтерілгенде станция ғимаратының ішіндегі арнайы тесік арқылы бассейнге су құйылады да бассейн толғанда ол тесік жабылады. Теңіздің қайтуы нәтижесінде оның деңгейі төмендейді, бассейіндегі су теңізге қарай ағып турбинаны іске қосады. Қысым турбина жұмыс істей алатын минимумнан төмен түскенде ол тоқтайды. Кейін цикл қайталанады.

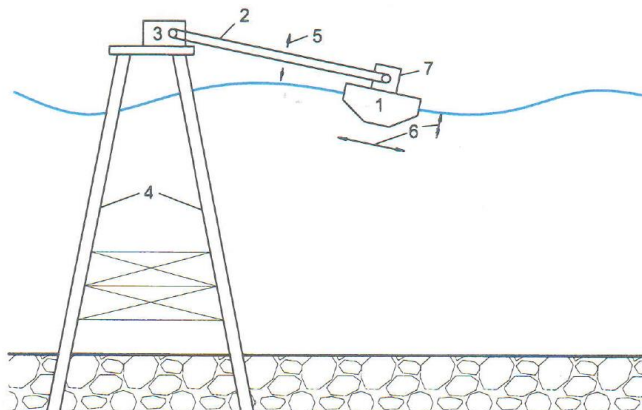
Екібағытта жұмыс істейтін турбинаны салу компоновкасы алдыңғыдай.

Су көтерілгенде де қайтқанда да электрэнергиясын шығаратын қарастырылған екібағытты режимді ПЭС су көтерілісінің потенциалдық энергиясын пайдалануды 33 %-ға дейін көтереді.

Толқындар энергиясын түрлендіру. Толқын энергиясын түрлендіргіштердің жұмыс істеу негізіне толқынның қалтқы, маятник, қалақша, қабық және т.б. секілді түрде жасалған жұмыс органдарына тигізер әсері алынған. Олардың қозғалысының механикалық энергиясы электргенераторы көмегімен электрэнергиясына түрленеді. Мұндай түрлендіргіштердің көптеген түрлері бар, ал оның ішінде классикалық деп айтар түрлері аса көп емес.

8.17-суретте ең қарапайым деген толқын кондырғысының конструкциясы көрсетілген.

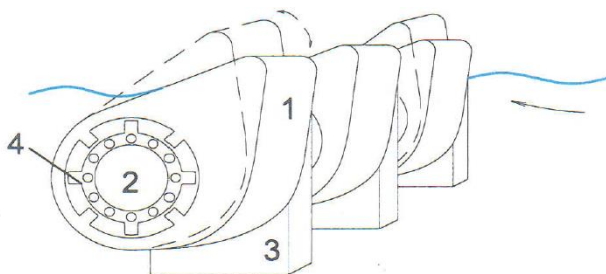
Кондырғы қалытқы (1) түрінде жасалған жұмыстық денеден тұрады. Қалытқы бір ұшын күштік түрлендіргішпен (3) жалғанған штанганың (2) екінші ұшына бекітілген. Түрлендіргіш тіреулерге (4) орналасқан. Түрлендіргіш штанганың тербелісін (5) қабылдайды. Егер қалытқы жалпақ болса және штангамен шарнир арқылы қосылса, ол да осы шарнирге сәйкес тербелістік қозғалыста (6) болады. Олай болса қалытқының үстіне осы қозғалысты түрлендіретін қосымша түрлендіргіш (7) орнату тиімді.



8.17-сурет. Қарапайым толқын құрылғысы конструкциясының мысалы

Қалытқының қозғалысы қайсыбір сиымдылық ішіндегі сұйықты немесе газды сығу үшін немесе электрмагниттік орамдағы өзекшені жылжыту үшін пайдаланылады. Қалытқы қозғалысы сонымен қатар рейкалы немесе шынжырлы беріліс көмегімен валдың айналуына немесе поршеньді насос көмегімен жұмыстық сұйықтың қысымына түрлендіріледі.

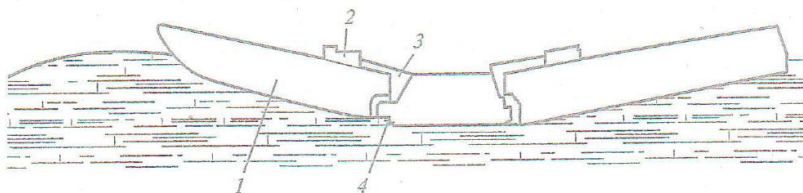
Ұлыбританияда су беті формасының өзгеруімен қатар қуалаған толқын қысымын пайдаланатын толқын энергиясының түрлендіргіші жасалынды. Оны жасаған Эдинбург университетінің профессоры Стефан Солтер «Солтер утқасы» деп аталып кеткен бұл түрлендіргіштің схемасы 8.18-суретте көрсетілген.



8.18-сурет. «Солтер утқасы» тәріздес толқын құрылғысының схемасы

Оның эксцентрікті қалытқысы (1) толқында шайқалып тұрады және қозғалмайтын валға (2) сәйкес өзінің бұрыштық күйін өзгертеді. Вал тіректерге (3) бекітілген. Бұл тербеліс насостың (4) жұмысына түрлендіріледі.

Коккерелл салы немесе «контурлы сал» деп аталатын толқын қондырғылары су беті формасының өзгеруін пайдаланады. Бұл «салдар» өзара топса арқылы байланысқан және поршеньді насостармен жабдықталған екі немесе одан да көп қалытқылардан құралған жалпақ немесе қорапты жұмыстық денеден тұрады. Қондырғы якорь көмегімен ұсталып тұрады. Теңіз беті формасының өзгеруі қалытқының бір-біріне сәйкес бұрыштық күйін өзгертеді де насосты жұмыс істетеді. (8.19-сурет). Солтер «үйрегі» секілді олда толқын маңдайына перпендикуляр орнатылып оның профилін қадағалайды.



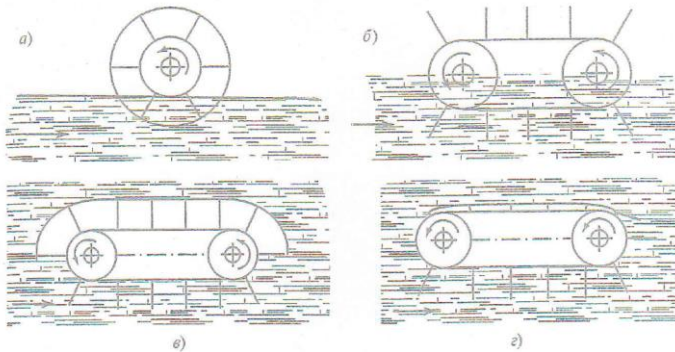
8.19-сурет. Коккерельдің контурлы плоты (салы):

1 – тербелмелі секция; 2 – түрлендіргіш; 3 – тяга; 4 – топса

Мұхиттағы ағыстар энергиясын пайдалану. Мұхиттың ең күшті ағыстары – ірі потенциалды энергияның көзі.

ЖЭҚ секілді су ағысы энергиясының түрлендіргіштерін екі топқа бөлуге болады. Біріншісі ағыстың жылдамдық күшін трубинаны айналдыруға түрлендіреді. Екіншісі, басқа физикалық (көлемді насостар, серпімді түрлендіргіштер және т.б.) принципті пайдаланатын түрлендіргіштер.

Ертеден бері белгілі түрлендіргіш – су доңғалағы. Су доңғалағының эволюциялық өзгерісін 8.20-суреттен көруге болады.

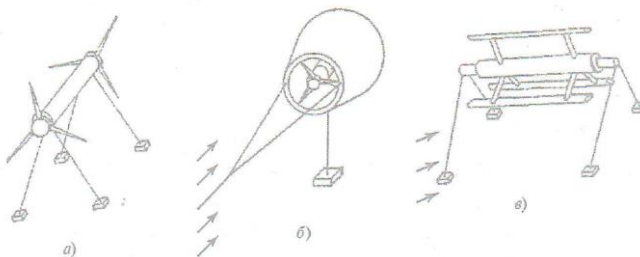


8.20-сурет. Су доңғалағының эволюциясы:

- а) доңғалақ – түп тұлға; б) қалытқы негізіндегі ленталы доңғалақ;
в) ағыс ортасындағы ленталық доңғалақ; г) ашылып-жабылатын
ленталы доңғалақ

Ленталық түрлендіргіште бірнеше қалақшалар ағыста айналып судың жылдамдық күшін түрлендіру тиімділігін көтереді, себебі бұл жағдайда әр доңғалақ тиісті максимал ағыс энергиясын қабылдайды.

Жел энергиясында қолданылатын Дарье турбинасының аналогиясымен жасалған су ағысы турбиналары бірлік қуатты едәуір көбейтуге мүмкіндік туғызды. 8.21-суретте осы жүйедегі басқарылатын қанатты жүйесі бар мұхиттық ГЭС түрлері көрсетілген.



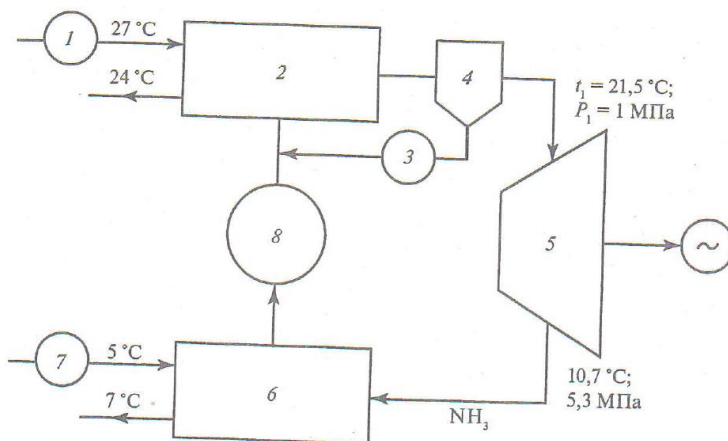
8.21-сурет. Мұхит ГЭС үшін перспективті турбиналар схемасының
варианттары:

- а) еркін ротор; б) сұғындырма кигізілген ротор; в) ағысқа көлденең
орнатылған ротор

Мұхиттың жылулық энергетикасын түрлендіру. Мұхитта күн энергиясының орасан зор қоры жинақталған.

Мұхитта жиналған жылу энергиясын түрлендіру үшін қызған су беті мен оның суыған терең қабаты арасындағы температурасының табиғи құламын пайдаланып жұмыс істейтін жылу машиналарын жасау қажет.

Тұйықталған Ренкин циклімен істейтін қондырғының схемасы 8.22-суретте көрсетілген.

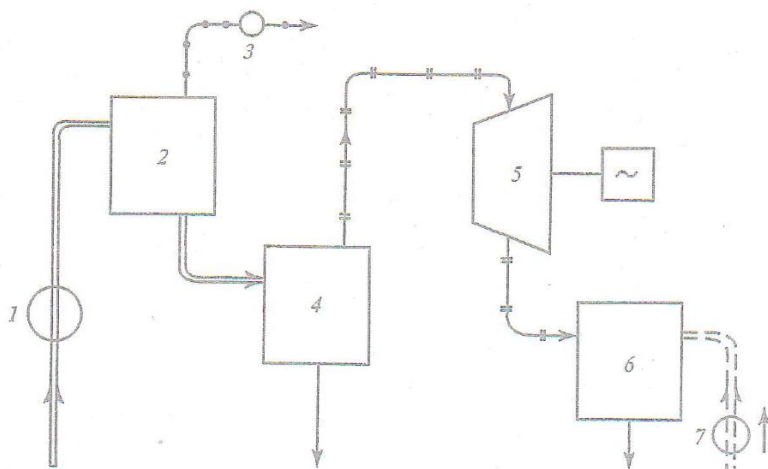


8.22-сурет. Тұйықталған циклімен істейтін термаль құрылғысының схемасы: 1 – жылы су насосы; 2 – буландырғыш;

3 – бутәріздес жұмыстық денені кептіру насосы; 4 – кептіргіш;
5 – генераторлы турбина; 6 – конденсатор; 7 – суық су алу насосы;
8 – жұмыстық денені беру насосы

Бұл схемада насоспен тартылған теңіздің бетіндегі жылы су жылуалмастырғыш буландырғышында жұмыстық денені (аммиак, фреон, пролан, т.б.) буландырады. Үлкен қысымды бу түзіліп трубинаны айналдыра отыра тоңазытқышқа беріледі. Онда ол тереңдегі суық суда тұрған екінші жылуалмастырғыштың суық бетімен жанасып конденсирленеді.

Клодтың ашық циклінде жұмыс істейтін қондырғының схемасы 8.23-суретте көрсетілген



8.23-сурет. Клодтың ашық циклінде істейтін қондырғының схемасы:

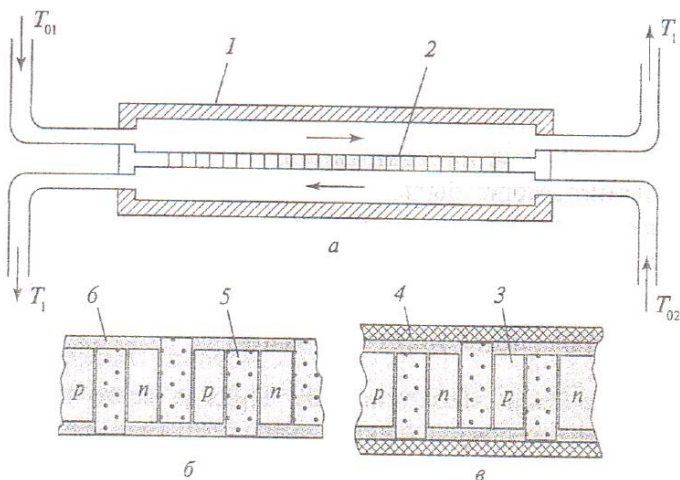
- 1 – жылы су насосы; 2 – деаэратор; 3 – вакуум насосы;
4 – буландырғыш; 5 – электргенераторлы турбина; 6 – конденсатор;
7 – суық су беру насосы

Жұмыстық дене ретінде бұл схемада теңіз суы пайдаланылып, ол еріген тұздан суды тазартатын деаэратор арқылы буландырғышқа беріледі. Алдын ала буландарғыш пен концентратордың қуыстарынан ауа шығарылады, себебі сұйық бетіндегі қысым тек температураға ғана тәуелді қаныққан бу қысымымен анықталады.

8.24-суретте Зеебек құбылысына негізделген схема келтірілген. Қосылған ұштарындағы температуралар әртүрлі, тасымалдауыш зарядтарының концентрациясы әртүрлі екі материалдар арасында потенциалдар айырымы пайда болады.

Бұл жүйенің жұмыс істеу принципі толығымен термодинамика заңдарымен өрнектеледі, ал жартылай өткізгішті түрлендіргіштердің ПӘК 10 %-ға жетеді.

Энергияның таусылмас көзі – мұхит әрқашан көптеген ғалымдардың назарында.



8.24-сурет. Жылу энергиясын тікелей электр энергиясына түрлендіретін МЖЭС схемасы:

а) жеке блок құрылымы: 1 – қаптама; 2 – термоэлектр генераторы;
 б) мен в) термоэлектрлік түрлендіргіштің әртүрлі варианттары:
 3 – р және n өткізгішті жартылай өткізгіш элементі; 4 – беттік оқшаулық қабықша; 5 – изолятор; 6 – байланыстырушы шиналар

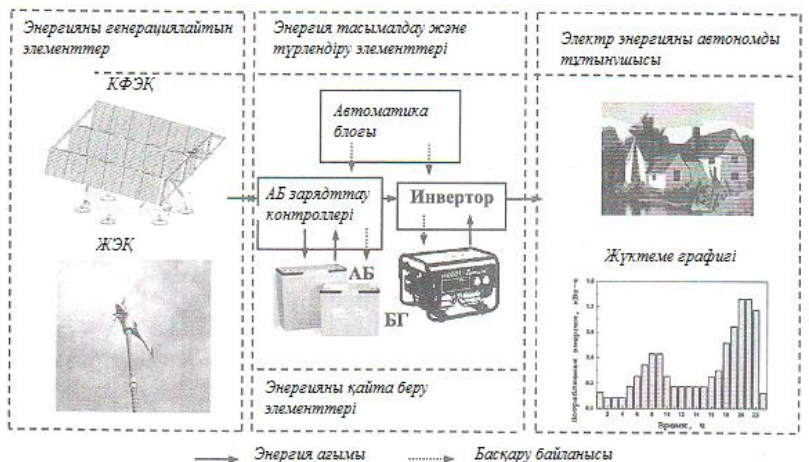
8.5. Жаңғыртылатын энергия көздерінің құрастырылған түрі

Соңғы жылдары көптеген шалғай аудандарды жаңғыртылатын энергия көздерінің құрастырылған түрлері арқылы энергиямен жабдықтау кең орын алуда.

Берілетін ЖЭК кездейсоқ – детерминді сипаты, маусымдық және күндік өзгермелілігі ЖЭК қондырғыларын жүктемелік графикті жабуда, мысалы, соның ішінде күн және жел энергия құрылғыларын нақты климаттық жағдайда жеке-жеке пайдалануды қиындатады. Бұл кезде олардың құрастырылған түрлері бойынша құрылған жүйелерді пайдалану тиімді. Бұл жүйелер автономды электржабдықтау жүйелері (АЭЖЖ) деп аталады.

АЭЖЖ келесі элементтерден тұрады (8.25-сурет):

- күн және жел құрылғылары кіретін жүйе арқылы энергияны генерирлеу;
- энергияны қайта тарату;
- шоғырландыру батареясы (АБ), отындық қозғалтқыш-генератор (БГ), инвертор, АБ зарядтау контроллері және автоматика блогы кіретін жүйе арқылы энергияны түрлендіру және беру, т.б.



8.25-сурет. Автоном электржабдықтау жүйесінің құрылымдық схемасы

Мұндай жүйелерді құру үшін алдымен жаңғыртылатын энергия ресурстары жөнінде көпжылдық метеосипаттамаларға сәйкес, олардың бірігіп жұмыс істеуін негіздейтін математикалық модель жасалынып зерттелуі қажет.

Күнфотозлектрлік құрылғысының ағымдағы қуатын мына формуламен анықтайды:

$$N_k = S \cdot E \cdot \eta, \text{ кВт},$$

мұндағы S — күн құрылғысының сәулеқабылдау бетінің ауданы, м^2 ;

E — күнфотозлектрлік құрылғысының бетіне түсетін күн сәулесінің тығыздығы, $\text{Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^2$;

η – күн құрылғысының ПӘК.

Күн құрылғысының жұмысына негізінен әрдайым өзгеріп тұратын күн сәулесінің параметрлері (спектрлік құрамы және ағын тығыздығы) және оның пайдаланылатын жеріндегі метеофакторларға тәуелді күн элементтерінің температурасы әсерін тигізеді. Бұл параметрлердің әсерін есепке алу үшін нақты ауа-райы жағдайындағы күн құрылғысының энергоөнімділігі мен ПӘК бағалауға және автономды жүйені жобалау үшін бастапқы деректерді алуға мүмкіндік беретін математикалық модель құру қажет.

Жел құрылғысының ағымдағы қуатын мына формула бойынша анықтайды:

$$N_{\text{жс}} = 0,000481 \cdot D \cdot V^3 \cdot \eta, \text{ кВт},$$

мұндағы D – ЖЭҚ роторының диаметрі, м;

V – жел соғуының жылдамдығы, м/с;

η – жел энергиясының ПӘК.

АЭЖЖ элементтерінің бірге істеу жұмысын модельдеу, оның элементтерінің белгіленген жұмыстық режимдеріне сәйкес жасалынады. Жұмыстық режимдер жүйедегі айналмалы қуаттың балансымен және шоғырландыру батареяларының зарядталу көрсеткішімен анықталады.

Қарастырылып отырған автономды электржабдықтау жүйелері, АЭЖЖ құрылымдық схемасы мен құрамын анықтайтын әртүрлі жел және актинометриялық ресурстары бар территорияларда жұмыс істейді. Жүйенің оптимал параметрлерін іздеу үшін ЖЭҚ негізіндегі және онсыз жасалынған АЭЖЖ 4 құрылымдық схемасы (T параметрі) белгіленген, олар төмендегідей іріктеледі:

– T_1 – күнфотозлектрлік құрылғы (КФЭҚ), АБ және бензинді қозғалтқыш-генератор;

– T_2 – желэлектрлік құрылғы (ЖЭҚ), АБ және бензинді қозғалтқыш-генератор;

– T_3 – КФЭҚ, ЖЭҚ, АБ және бензинді қозғалтқыш-генератор;

– T_4 – бензинді қозғалтқыш-генератор.

АЭЖЖ құрамына ЖЭК пайдаланатын қондырғылар енгізгенде алынатын экономикалық тиімділікті есептегенде, оның салыстырмалы негізіне, электрэнергия тек бензинді генератордан өндірілетін Т₄ варианты алынады.

Берілген критерийге сәйкес автономды электржабдықтау жүйесінің оптимал құрылымдық схемасы мен элементтері параметрін таңдаудың екі деңгейлік алгоритмі ұсынылады.

Бірінші деңгейде элементтер параметрі Т құрылымдық схеманың әрқайсысы үшін мына этаптарды іске асыру жолымен оптималданды:

- АЭЖЖ талданатын құрылымдық схемасының әрқайсысы үшін жүйе элементтерін модельдеу жұмысы;

- тұтынушылар жүктемесінің графигін қамтамасыз ететін жүйе элементтері параметрлерінің үйлесуін анықтау (күн фотоэлектрлік қондырғының ауданы, шоғырландыру батареяларының саны, бензинмен жұмыс істейтін қозғалтқышы бар генератор жұмысына қажетті отын көлемі);

- АЭЖЖ әрбір талданатын құрылымдық схемасы үшін, күн фотоэлектрлік қондырғының ауданы, шоғырландыру батареясының саны бензинді қозғалтқышқа кететін отын шығыны мен жұмыс жасау мерзімі т.с.с. параметрлердің функциясы болатын, электржабдықтау жүйесінің жоспарланған мерзімдегі жиынтық шығынды (ақша қаражатын жұмсау және жалпы шығын) есептеу;

- минимал жиынтық шығынға сәйкес келетін әрбір құрылымдық схема үшін жүйе элементтері параметрлерінің үйлесімділігін таңдау.

Екінші деңгейде АЭЖЖ құрылымдық схемасының түрі барлық пайдалану мерзіміндегі шығынның минимумы критерийі бойынша оптималданады.

АЭЖЖ құрылғыларын еліміздегі электржабдықтау желілерінен шалғай жатқан және қатынасуға қиын таулы аймақтарда пайдалану өте тиімді.

Бақылау сұрақтары:

1. ГЭС негізгі түрлерін атап шығыңыз және өзара айырмашылықтарын түсіндіріңіз.

2. Водотокты (су ағысын) қандай параметрлер сипаттайды?
3. ЖЭҚ дегеніміз не? Оның жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
4. Ауа ағымының қуаты мен энергиясы неге байланысты?
5. Желқозғалтқыштың негізгі кластарын атап шығыңыз. Қай класқа қандай желқозғалтқыштар жатады?
6. Күн энергиясының негізі.
7. КЭС түрлері және жұмыс істеу принциптері.
8. Стирлинг – технологияның ерекшелігін және мәнін түсіндіріңіз.
9. ЖЭК басқа да түрлерін және олардың ерекшеліктерін атап өтіңіз. Әрқайсысына сипаттама беріңіз.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Бекбаев А. Электртехника ғұламалары: Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2020. – 280 б.
2. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: Учебник. – М.: ИНФРА, 2005. – 278 с.
3. Воробьев А., Козлов И. Большая энергетика малого формата // Контакты. 2007.
4. ГОСТ Р 51238-98 «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения».
5. Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016. – 424 с.
6. Коллиер Дж. Чьюитт Дж. Введение в атомную энергетику – М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. Основы современной энергетики /под.ред. Е. В. Аметистова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
8. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
9. Шаров Ю. В., Хорольский В. Я., Таранов М. А., Шемякин В. Н. Электроэнергетика: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 384 с.

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
1. Энергетика мен электр жөнінде жалпы түсінік.....	6
1.1. Басталу және даму кезеңдері.....	6
1.2. Электрді зерттеудегі алғашқы эксперименттер.....	8
1.3. Алғашқы энергия көздері.....	14
1.4. Электрдің табиғаты.....	22
1.5. Электр – электрондар жұмысының өнімі.....	26
1.6. Электрмагниттік құбылыстар	31
2. Энергия ресурстары және оларды пайдалану.....	44
2.1. Жалпы түсінік.....	44
2.2. Жаңғыртылмайтын энергия көздері.....	45
2.3. Отынның түрлері мен сипаттамалары.....	48
2.4. Жаңғыртылатын энергия көздері.....	59
2.5. Энергетика көздерінің экологиялық сипаттамалары.....	64
3. Техникалық термодинамиканың негізгі ережелері.....	76
3.1. Негізгі түсініктермен анықтамалар.....	76
3.2. Термодинамикалық процестер.....	78
3.3. Ішкі энергия. Термодинамиканың бірінші заңы.....	81
3.4. Энтальпия, жылуסיымдылық және энтропия	85
3.5. Термодинамиканың екінші заңы.....	89
3.6. Карно циклі.....	92
4. Электр энергиясын электрстанцияларында өндіру технологиясы.....	97
4.1. Электрстанциялардың түрлері.....	97
4.2. Бу турбиналы электрстанциялар.....	99
4.3. Бу турбиналы қондырғының циклдері.....	106
4.4. Жылуэлектрорталықтары (ЖЭО).....	113
4.5. Газтурбиналы құрылғылар (ГТК).....	114
4.6. Газтурбиналы қондырғының циклдері.....	116
4.7. Бугазды құрылғылар.....	118
4.8. МГД – генераторлы электрстанциялары.....	121
4.9. Атом электрстанциясы (АЭС).....	124
4.10. АЭС циклдері және олардың тиімділігі.....	127
4.11. Дизельді электрстанциялар.....	134
5. Қазандық қондырғылар.....	136

5.1.	Жалпы түсініктер.....	136
5.2.	Бу қазандығы және оның негізгі элементтері.....	136
5.3.	Қазандық агрегаттарының негізгі түрлері.....	142
5.4.	Бу қазандығының жылу балансы. Пайдалы әсер коэффициенті.....	149
5.5.	Қазандық қондырғының технологиялық схемасы....	152
5.6.	Қазандық қондырғысының көмекші жабдықтары....	153
5.7.	Бу қазанының ішкі процестері және оның су режимі....	158
5.8.	Қазан қондырғылары беттерінің коррозиясы және пайдалану ерекшеліктері.....	161
5.9.	Қазан агрегатының зиянды шығаруларынан қоршаған ортаны қорғау.....	163
6.	Электрэнергетикалық жүйелер.....	169
6.1.	Жалпы түсінік.....	169
6.2.	Электрэнергетикалық жүйелер.....	170
6.3.	Электр желілері.....	172
6.4.	Энергожүйедегі электрстанциялардың режимдері мен жұмысы.....	175
6.5.	Электржабдықтау жүйелері.....	177
6.6.	Электрэнергиясының сапасы.....	185
7.	Кіші энергетика.....	194
7.1.	Кіші энергетика потенциалы.....	194
7.2.	Кіші гидростанциялар.....	198
7.3.	Кіші атом электрстанциясы.....	209
7.4.	Кіші жылу энергетикасы.....	210
7.5.	Биологиялық отындарды пайдалану.....	213
7.6.	Кіші құрастырылған жылу жүйелері.....	216
8.	Жаңғыртылатын энергетика.....	225
8.1.	Гидроэнергетика.....	225
8.2.	Жел энергетикасы.....	230
8.3.	Күн энергетикасы	241
8.4.	Жаңғыртылатын энергия көздерінің басқа түрлері.....	247
8.5.	Жаңғыртылатын энергия көздерінің құрастырылған түрі.....	262
	Библиографиялық тізім.....	267

Оқулық басылым

А.Б. Бекбаев, Е.А. Сарсенбаев, А.А. Жуматова

ЭНЕРГЕТИКА НЕГІЗДЕРІ

Оқу құралы

БДБ бастығы

Л. Т. Қасжанова

Редакторы

Т. С. Жақсыбаева

Компьютерлік беттеу

Л.П. Умирбекова

Басуға қол қойылды 07.02.2022 ж.

Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84x 1/16.

№ 1 баспаханалық қағаз.

Е.-б.т. 16,9. Ш.б.т.15,7. Тапсырыс № 938

Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті басылымы

Polytech баспасы

Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

