

Цөм-устөрөгчийн эрчим хүчнийг Монголд хөгжүүлэх үзэл баримтлалыг боловсруулах асуудалд

Н. Норов^{1*}, С. Одмаа^{1,2}, Б. Мөнхбат^{1,2}, Т.Жамъянсүрэн¹, Г. Нарантунгалаг¹, Б. Хохсүвд¹

¹ Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улсын их сургууль

² Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Монгол улсын их сургууль

Энэхүү өгүүлэлд манай улсад байгалийн хийн нөөц тогтоогдоогүй, эрчим хүчний анхдагч эх үүсвэрийн ихэнх нь хүрэн нүүрс, уран тул цөмийн эрчим хүчний өндөр температурын реактор ба өндөр температурын цахилгаан химийн төхөөрөмжийг хослон ашигласнаар цахилгааны ачааллыг тохируулах, ус, нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэж экологийн үнэмлэхүй цэвэр цөм-устөрөгчийн эрчим хүчний үзэл баримтлалыг ойрын ирээдүйд хөгжүүлэх асуудлыг дэвшүүлж тавив.

Түлхүүр үг: Цөм-устөрөгчийн эрчим хүч, түлшний элемент, өндөр температурын хийн реактор, цөмийн энерги технологийн цогцолбор, өндөр температурын цахилгаан химийн төхөөрөмж.

Удиртгал

Устөрөгчийн эрчим хүч буюу устөрөгчийн эдийн засаг нь XXI зууны хөгжлийн хандлага болж байна. Бид Монголд устөрөгчийн эрчим хүчийг хөгжүүлэх асуудлыг дэвшүүлж тавьж байсан болно [1,2]. Устөрөгчийн технологийн экспертийн зөвлөл (Hydrogen Council) өөрийн саяхны илтгэлд 2050 онд дэлхийн бүх эрчим хүчний хэрэгцээний 18%-ийг устөрөгчөөр хангахаар баталсан байна. Урьдчилсан дүгнэлтээр энэ үед устөрөгчийн дэлхийн хэрэглээ жилд 370 сая тонн, 2100 онд 800 сая тонн хүрч өсөхөөр байна [3,4].

Эрчим хүчний инновацийн асуудлыг шийдвэрлэхэд цөм-устөрөгчийн эрчим хүчний гүйцэтгэх үүрэг чухал бөгөөд эрчим хүчний экологийн цэвэр үйлдвэрлэлийг хангах, тээврийн ба автомашины энергийн үүсгүүрт нүүрстөрөгчийн шатах түлшийг халах, цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх АҮК-ийг 75-80% хүртэл нэмэгдүүлэх зэрэг тэргүүлэх асуудлыг шийдэх юм. Цөмийн эрчим хүчний тусламжтай устөрөгч үйлдвэрлэж ашиглах нь агаар мандалд хортой хаягдал үүсгэхгүй, маш их хэмжээтэй цэнгэг ус гарган авах болно. Иймээс ч энэ аргыг үйлдвэрлэлд өргөн дэлгэрүүлэхэд дэлхий дахинд маш их анхаарал хандуулж байна.

1. Цөм-устөрөгчийн эрчим хүч

Одоо устөрөгч ба устөрөгч агуулагч бүтээгдэхүүний ихэнх хэсэг байгалийн хийн уурын хувиргалтын аргаар үйлдвэрлэгдэж байна. 700-1000°C температуртай усны уур катализаторын оролцоотой даралтанд метантай холигдино. Энэ үед хийн хагас нь процессын үед царцуулагдана. Байгалийн хийг хэмнэх хүрээлэн буй орчны ачааллыг бууруулах зорилгоор ӨТХР (өндөр температурын хийн реактор)-оос дулаан оруулах метаны уурын хувиргуурын бүдүүвчийг боловсруулжээ.

Хандлагын шинэлэг тал нь ӨТХР-тай хамт хослуулан өндөр температурын цахилгаан химийн төхөөрөмж (ӨТЦХТ)-ийг авч үзэх явдал юм. Энэ станцын хүрээнд эдийн засгийн үр өгөөжтэй, экологийн цэвэр устөрөгчийн том үйлдвэрлэлийг хэрэгжүүлнэ. Цөм-устөрөгчийн эрчим хүчинд өндөр температурын реактороос гадна энерги хувиргах систем, технологийн процесст дулаан тээвэрлэх, худалдааны устөрөгч гарган авах технологийн хэсэг орно.

Цөмийн эрчим хүч түлшний хязгааргүй нөөцтэй бөгөөд цахилгаан, дулаан, устөрөгч үйлдвэрлэх үед хүрээлэн буй орчинд бага хортой үйлчилгээ үзүүлнэ. Цөм-устөрөгчийн эрчим хүчийг хөгжүүлэх үед цөмийн энергийн дээр дурдсан давуу тал дээр устөрөгчийн онцлогийг нэмэх ёстой. Үүнд:

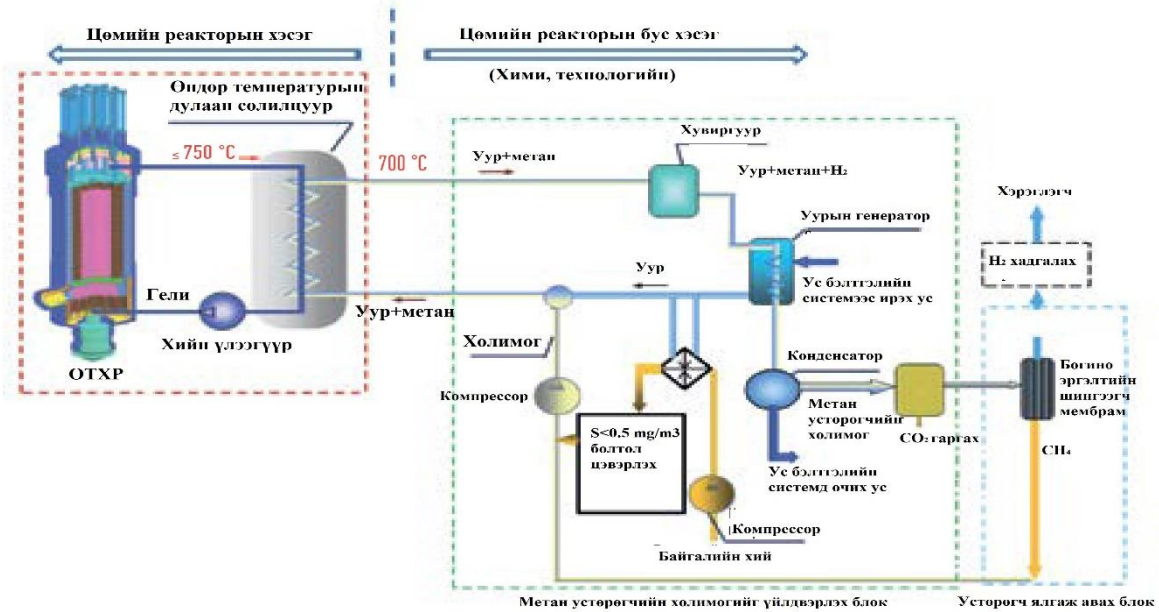
- Түүнийг гаргаж авах түүхий эдийн нөөц хязгааргүй;

* Electronic address: norov@seas.num.edu.mn

- Ашиглах, тээвэрлэхэд зориулсан сайн энерги зөөгч;
- Үйлдвэрт зориулан их хэмжээтэй шаардагдах химийн урвалж;
- Энерги хуримтлуулах боломжтой.

Цөм-устөрөгчийн эрчим хүчийг **оролт дээр ус + цэвэр цөмийн энерги \Rightarrow устөрөгч \Rightarrow устөрөгч +**

хүчилтөрөгч = цэвэр энерги + гаралт дээр ус гэж тодорхойлдог. Байгалийн хий ба метаны хийн хувиргалт, нүүрсний хийжүүлэлт, пиролиз усны электролиз, хэсэгчлэн исэлдүүлэлт зэрэг олон төрлийн аргаар устөрөгчийг гаргаж авна.

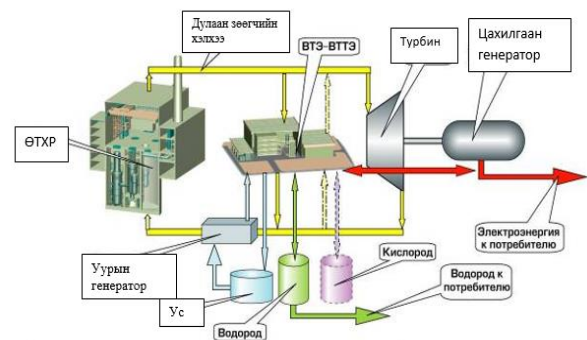


Зураг 1. Өндөр температурын хийн реактор бүхий цөм-устөрөгчийн цогцолбор.

ОХУ-д 1998 оноос 2012 он хүртэл Африканы ОКБМ нь General Atomics (АНУ)-тай хамтран 600 МВт чадалтай модуль ӨТХР-ын төслийг боловсруулсан [2,3]. МУИС, Цөмийн физикийн судалгааны төвийн судлаачид энэ төрлийн реакторын призм голомтын бүтцийг сайжруулах судалгааг сүүлийн жилүүдэд гүйцэтгэж байна [5-9]. Метаныг хувиргах технологитой цөм-устөрөгчийн цогцолборын үндсэн үзүүлэлтийг 1-р хүснэгтэд харуулав.

1-р хүснэгт.

Үзүүлэлтүүд	Утга
ӨТХР-ын нийлбэр дулааны чадал, МВт	2400
Реакторын хэлхээний дулаан зөөгч	Гели
Реактороос гарах дулаан изөөгчийн температур, °C	950
Устөрөгчийн үйлдвэрлэл, мян.т/жил	400
Дулаан хангамжид жилд өгөх дулаан, мян.Гкал	6688
Жилийн цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэл, сая кВт-цаг	5300
Ашиглах хугацаа, жил	60

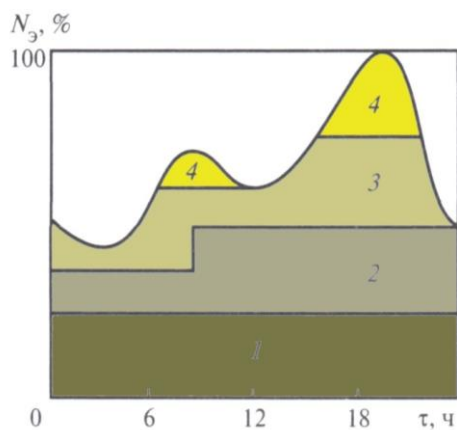


Зураг 2. ӨТХР ба буцах өндөр температурын электролизер-түлшний элемент дээр суурилсан устөрөгч үйлдвэрлэх энерги технологийн бүдүүвч.

2. Устөрөгчийн үйлдвэрлэл, цахилгаан эрчим хүчний ачааллын тохиргоо

Цөмийн реакторыг устөрөгч үйлдвэрлэх болон устөрөгч, хүчилтөрөгчийг түлшээр ашиглах төхөөрөмжийн тусламжтай цахилгааны ачааллыг тохируулах асуудлыг авч үзье. Орчин үед жил бүр энергийн хэрэгцээ өсөж шинэ энергийн төхөөрөмж байгуулах ба ашиглаж байгаа төхөөрөмжийн ажлын үр ашгийг дээшлүүлэх шаардлагатай болж байна. Манай орны эрчим хүчний систем нь нүүрсний

дулааны станцуудад дулаан, цахилгаан, сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр болох усан ба салхин станцуудад цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэж байна. Цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэхээс гадна цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ тогтмол биш хоног, долоо хоног, жилийн турш өөрчлөгдөх тул түүний графикийг тохируулах асуудлыг шийдэх шаардлагатай. Бүх цахилгаан үйлдвэрлэх станцуудын ажлын горимын өөрчлөлтөөр цахилгааны ачааллын тохируулга хийгдэнэ. Жишээ нь: эрчим хүчний системийг яаралтай цөөн минутад балансжуулах шаардлага болон системийн хоногийн цахилгааны хэрэглээний огцом өөрчлөлт (Зураг 3) зэрэг нь чадлын түвшинг богино хугацаанд болон нэлээд өргөн хугацаанд өөрчлөх(маневрлах) чадвартай тодорхой тооны цахилгаан станцтай байхыг зүй ёсоор шаардана.



Зураг 3. Эрчим хүчний системийн хоногийн цахилгааны ачаалал.

Цахилгаан станцуудын хоорондох чадлын хоногийн графикийн түгэлтийг 3-р зурагт харуулав. Графикийн 1-суурь хэсэгт системийн давтамжийг хөтлөгч их чадалтай конденсацйн цахилгаан станц, ЦЦС, усан сангүй УЦС, 2-дулааны хэрэглээний графикаар ажиллах дулаан цахилгааны төв, 3-бага, дунд чадалтай дулааны цахилгаан станц, 4-хоногийн тохируулгатай усан сантай УЦС, ус хуримтлуулах станц, Хийн турбины төхөөрөмж.

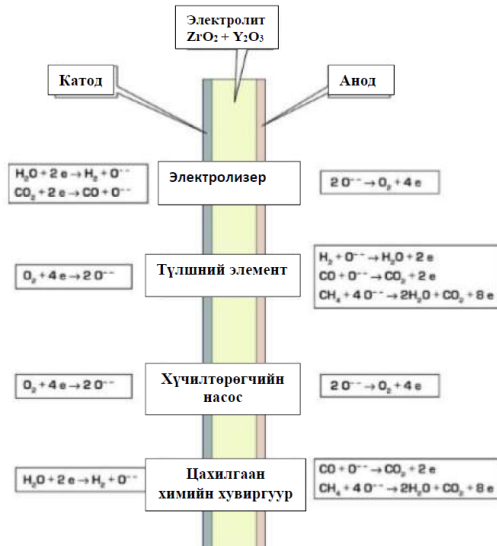
Эрчим хүчний системийн цахилгааны ачаалал жилийн туршид үлэмж өөрчлөгддөг боловч цахилгаан эрчим хүчний хангамжийг найдвартай байлгахын тулд системийн суурилагдсан нийлбэр чадал ба нөөц чадал хоёрын нийлбэр тухайн системийн жилийн дээд (максимум) ачааллаас ямагт багагүй байх ёстой.

Энэ нь жилийн ихэнх хугацаанд нэлээд хэмжээний үүсгүүр чадал дутуу ашиглагдах болно гэсэн үг юм. Эрчим хүчний систем ба цахилгаан станцуудын суурилагдсан чадлын жилийн ашиглалтын түвшинг эрчим хүчний систем ба цахилгаан станцуудын жилийн ачааллаас харж болно. Эрчим хүчний системийн жилийн ачааллыг гурван төрөл болгон ялгана. Суурь ачааллын үргэлжлэл нь жилийн үргэлжлэх хугацаатай бараг давхцаж байна. Завсрын буюу хагас оргил ачаалал нь 4000-7000 цаг үргэлжилнэ. Оргил ачаалал 3000 цаг буюу түүнээс бага хугацаанд үргэлжилнэ.

Цахилгааны ачааллыг тохируулах зорилгыг шийдэхийн тулд ЦЦС ба ӨТЦХТ (Өндөр Температурын Цахилгаан Химийн Төхөөрөмж)-ийг хослуулан хэрэглэх тухай авч үзье. Энэ хослуулсан энерги төхөөрөмж нь энерги төхөөрөмж өөрөө ашиглах, мөн хэрэглэгчид өгч болох устөрөгч үйлдвэрлэх чадвартай юм. Хослуулсан энерги төхөөрөмж дотор устөрөгчийг ашиглах нь ЦЦС-ын ажлын суурь ачааллыг хангах болно. Эндээс л найдварыг дээшлүүлэх, цахилгаан эрчим хүчний өөрийн өртгийг багасгах, оргил чадлыг ихэсгэх зэрэг сайн үр дагаврууд гарна. ӨТЦХТ нь 900°C орчим температурт ажиллах учир ӨТХР төрлийн реактортай цахилгаан химийн төхөөрөмжийг 1-р зурагт үзүүлэв.

ӨТХР ба ӨТЦХТ-ийг хослуулан ажиллуулах тухай авч үзье. Ачаалал унах шөнийн цагийн хугацаанд электролизын горимд ажиллах ӨТЦХТ-ийн тусламжтай устөрөгч ба хүчилтөрөгч үйлдвэрлэнэ. Электролизод ашиглаж байгаа ус нөөцлүүр агуулахаас уурын генераторт орсны дараа буцах цахилгаан химийн төхөөрөмж рүү чиглэнэ. Гаргаж авсан хүчилтөрөгч ба устөрөгчийг хадгалах зорилгоор нөөцлүүрлүү орно. Оргил ачааллын өдрийн цагт ӨТЦХТ түлшний элементийн горимд шилжиж, ачаалал унасан үед хуримтлагдсан хүчилтөрөгч ба устөрөгчийг ашиглан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэнэ. ӨТЦХТ нь нэг нь анод, нөгөө нь катод болох ZrO_2 керамикаар хийсэн электродууд дээр хуримтлагдсан хатуу исэл электролитод суурилсан электрохимийн төхөөрөмж юм. ZrO_2 -г үндэслэсэн электролит 850°C-ээс дээш температуртай үед хамгийн их утгатай байх хүчилтөрөгчийн ионы

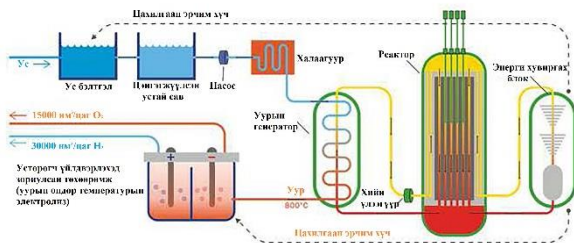
дамжуулалттай. Одоо керамикийн нөөцийн чадамж 140 мянган цаг байна. ӨТЦХТ нь Зураг 2-т үзүүлсэн ямар нэг ноцтой хязгаарлалтгүй төрөл бүрийн процесст ашиглаж болох нэгдсэн олон үүрэгтэй устөрөгчийн техникийн хэрэгсэл юм.



Зураг 4. ӨТЦХТ-ийн олон үүргийн нэгдэл.

Зураг 4-өөс харахад ӨТЦХТ дараах горимуудад ажиллах чадвартай. Үүнд:

- Уснаас (усны уураас) устөрөгч ба хүчилтөрөгч үйлдвэрлэх электролизерийн горимд;
- Химийн энергийг шууд цахилгаан энергид хувиргах түлшний элементийн горимд;
- Агаараас хүчилтөрөгчийг хөөрөгдөн гаргаж өөр оронд түүнийг зөөж аваачих хүчилтөрөгчийн насосын горимд;
- CO буюу CH₄-ын химийн энергийг устөрөгчид хувиргах цахилгаан химийн хувиргуурын горимд гэх мэт.

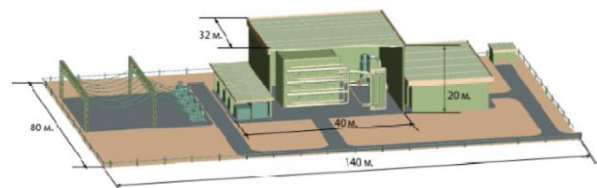


Зураг 5. Өндөр температурын электролизын аргаар устөрөгч үйлдвэрлэх бүдүүвч.

3. Өндөр температурын цахилгаан химийн төхөөрөмж

Өндөр температурын цахилгаан химийн төхөөрөмж (ӨТЦХТ) электролизерийн горимд цахилгааны гүйдэл ба усны уур гаргана.

Гүйдлийн үйлчлэлээр усны уур хүчилтөрөгч ба устөрөгч болон задарч нөөцлүүрт хадгалагдана. Түлшний элементийн горимд устөрөгч ба хүчилтөрөгч нөөцлүүрээс ӨТЦХТ-д орж цахилгаан химийн урвал явуулна. Энэ урвалын үр дүнд цахилгаан эрчим хүч ба ус үйлдвэрлэнэ. Энэ цахилгаан химийн урвалын үр дүнд гарган авсан ус нөөцлүүрт орж цаашид электролизод ашиглагдана. Ийнхүү электролиз цахилгаан энерги үйлдвэрлэх хоёр процесс нэг багаж хэрэгсэлд явагдах учир түүнийг буцах цахилгаан химийн төхөөрөмж гэж нэрлэж болно. Өндөр температурын электролизерийн онцлог нь дулаан шингэх болон дулааны нейтрал горимд ажиллаж чаддагт оршино. Энэ нь өгөгдсөн электролизерийг дурын ӨТХР, Даралтат устай реактор гэх мэт дурын реакторын төрөлтэй хамт ашиглаж болно. Өндөр температурын реактортай цахилгаан химийн төхөөрөмжийн буцах хослуулалтын үед тэр нь дулаан хэрэглэх горимд ажиллаж болно. Электролиз дээр 1,29 В-оос бага хүчдэл жишээ нь 1.1 В хүчдэл өгөхөд электролиз дээрх цахилгаан энергийн зардал 2,64 кВт/м³ H₂ байна. Даралтат усан реактортай ӨТЦХТ хослох үед электролизын процесс дулааны нейтрал горимд явагдана. Электролизер дээр 1,29 В хүчдэл өгөхөд цахилгаан энергийн зарцуулалт 3,1 кВт/м³ H₂. ӨТЦХТ ЦЦС-ын нутаг дэвсгэр дээр иж бүрдлээс тусдаа баригдана. Зураг 1 болон 5-т ӨТЦХТ-ийн бүрэлдэхүүнийг үзүүлэв.



Зураг 6. ӨТЦХТ-ийн бүрэлдүүлэл.

Түлшний элементийн горимд ажиллах 12 МВт гаралтын чадалтай ӨТЦХТ-ийн хэлбэр, бүрдүүлэлтийг Зураг 1 болон 5-т харуулав. ӨТЦХТ-ийн иж бүрдлийн эзлэх талбайн 1.12 га (11200 м²) бөгөөд буцах цахилгаан химийн төхөөрөмжийн байрлах байрны талбай 0.128 га (1280 м²) байна. ӨТЦХТ-ийн иж бүрдлийн нутаг дэвсгэр дээр цахилгаан дамжуулах шугам, устөрөгч ба хүчилтөрөгч хадгалах байр, буцах цахилгаан химийн төхөөрөмж байрлуулах барилга зэрэг байрлана.

Дээр дурдснаар ЦЦС ба ӨТЦХТ дээр үндэслэсэн хосолсон энерги төхөөрөмж нь ЦЦС-ын оргил ачааллыг дээшлүүлдэг. Жишээлбэл, 500 МВт чөлөөт цахилгаан эрчим хүч шөнийн ~8 цаг байна гэвэл электролизерийн горимд ажиллах ӨТЦХТ-ийн тусламжтай бид 1.3 сая нм³ устөрөгч үйлдвэрлэж чадна. Энэ нь өөрийн ээлжид 535 МВт цахилгаан эрчим хүч түлшний элементийн горимд ажиллах ӨТЦХТ-ийн тусламжтай 4 оргил ачааллын турш үйлдвэрлэх болно. Хэрэв ачааллын графикийн шөнийн уналт ойролцоогоор ЦЦС-ын суурь ачааллын 50% бол ӨТЦХТ-ийг ашиглах нь станцын оргил чадлыг 50% өсгөнө.

- Жилийн 500 МВт бүтээмжтэй ӨТЦХТ-ийн үйлдвэрлэлд зориулсан барилга, туслах үйлчилгээ, тоноглолын үнэ 56 сая дол.
- ӨТЦХТ-ийн үйлдвэрлэлийн үнэ 350 дол./кВт
- 500 МВт чадалтай ӨТЦХТ-ийн үнэ 175 сая дол.

GT-HMR реактор бүхий станцад үйлдвэрлэх 1 кВт-цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх өөрийн өртөг 1.3 цент байгаа нь ойрын болон дунд хугацаанд эрчим хүчний үнийг тогтвортой барих баталгаа болохын зэрэгцээ ийм 4 реактортай станц нь манай улсын устөрөгчийн хэрэгцээг 2030 он хүртэл хангах бөгөөд түүний хөрөнгө оруулалт 1.7 тэрбум ам.доллар, 1 м³ устөрөгчийн өөрийн өртөг 5 центээс хэтрэхгүй болно [2]. Манай улсын эдийн засгийн хувьд алдагдалтай, экологийн хувьд хор хөнөөлтэй түүхий нүүрсний зах зээл нь импортын хараат бус, дэлхийн дулаарлын эх үүсвэр нүүрстөрөгч ялгаруулахгүй экологийн үнэмлэхүй цэвэр устөрөгч үйлдвэрлэх цөм- устөрөгчийн эрчим хүчийг хөгжүүлж устөрөгчийн зах зээл рүү ойрын ирээдүйд шилжих шаардлагатай болно. Ийнхүү ӨТЦХТ-ийг ЦЦС-тай хослуулан ашиглах нь бодит чухал ач холбогдолтой хэрэгцээ болж байна.

Дүгнэлт

1. Монгол улс байгалийн хийн нөөцгүй тул ураны нөөцийг ашиглах өндөр температурын реактор бүхий цөмийн станцад цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх, цахилгааны хэрэглээний оргил ачааллыг

хаах мөн түүнээс гарах өндөр температуртай гелийн хийг ашиглан нүүрс, уснаас устөрөгч үйлдвэрлэх, буцах өндөр температурын электролизер-устөрөгчийн түлшний элемент бүхий цахилгаан химийн төхөөрөмж бүхий цөм-устөрөгчийн эрчим хүчний үзэл баримтлалыг манай улсад хэрэгжүүлэх саналыг дэвшүүлэв.

2. Цахилгаан, дулааны эрчим хүч, устөрөгч үйлдвэрлэх зорилготой зохион бүтээгдэж байгаа хийн хөргүүртэй GT-HMR, PBMR реакторуудаас хүрэн нүүрс, уснаас устөрөгч үйлдвэрлэх ӨТЦХТ-ийг сонгон авч манай улсад устөрөгчийн эрчим хүч хөгжүүлэх үндэсний хөтөлбөрийг боловсруулах шаардлагатай.
3. GT-HMR реактор бүхий станцад үйлдвэрлэх 1 кВт-цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх өөрийн өртөг 1.3 цент байгаа нь ойрын болон дунд хугацаанд эрчим хүчний үнийг тогтвортой барих баталгаа болохын зэрэгцээ ийм 4 реактортай станц нь манай улсын устөрөгчийн хэрэгцээг 2030 он хүртэл хангах бөгөөд түүний хөрөнгө оруулалт 1.7 тэрбум ам.доллар, 1 м³ устөрөгчийн өөрийн өртөг 5 центээс хэтрэхгүй бөгөөд жилийн 500 МВт бүтээмжтэй ӨТЦХТ-ийн үйлдвэрлэлд зориулсан барилга, туслах үйлчилгээ, тоноглолийн үнэ 56 сая доллар, ӨТЦХТ-ийн үйлдвэрлэлийн үнэ 350 доллар/кВт байна.

Талархал

Энэхүү ажил нь “Монголд тохиромжтой дэвшилтэт цөмийн реакторын харьцуулсан судалгаа” сэдэвт төслийн хүрээнд хийгдсэн бөгөөд санхүүжүүлсэн БШУЯ, Шинжлэх ухаан, технологийн санд талархал илэрхийлье.

Ашигласан материал

- [1] Н.Норов. Монголын эрчим хүчний ойрын ирээдүйн шинэ эх үүсвэрийн сонголтын тухай. “Эрчим хүч-хэмнэлт-бодлого” сэдэвт эрдэм шинжилгээний, онол практикийн бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл. УБ, 2012. 21-29-р тал.
- [2] Н.Норов, С.Одмаа, Т.Жамъянсүрэн, Г.Энхбаатар, М.Энхбаатар Устөрөгчийн

- эрчим хүчийг Монголд хөгжүүлэх асуудалд. Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик №23(455), 2016, 100-106-р тал.
- [3] Hydrogen Scaling Up. A Sustainable Pathway for the Global Energy Transition [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>
- [4] Ponomarev-Stepnoy N.N., Alekseev S.V., Petrunin V.V., Kodochigov N.G., Kuznetsov L.E. Nuclear power and process production complex with high-temperature gas-cooled reactors for largescale ecologically friendly hydrogen production from water and natural gas. Газовая промышленность, №11(777), 2018.
- [5] С.Одмаа, Н.Норов. Бага дунд чадалтай реакторыг Монголд ашиглах асуудалд. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик №20(438), 2015, 57-62-р тал.
- [6] Odmaa S, Jamiyansuren T, Munkhbat B, Norov N (2019) Comparative study on core designs of an annular, prismatic HTGR for passive decay heat removal. International Journal of Nuclear Safety and Simulation 9(2): 194-199
- [7] Odmaa S, Khukhsuvd B, Jamiyansuren T, Munkhbat B, Norov N (2019) Preliminary neutronic analyses on VHTR core design. International Journal of Nuclear Safety and Simulation 9(2): 200-205.
- [8] S.Odmaa, T.Jamiyansuren, T.Obara, N.Norov .Design parameters in an annular, prismatic HTGR for passive decay heat removal. Annals of Nuclear Energy.111(2018) pp 441-448.
- [9] Т.Жамъянсүрэн, С.Одмаа, Б.Мөнхбат, Н.Норов. Өндөр температурын хийн реакторын голомтын нейтроник анализд “SERPENT” кодыг ашиглах нь. МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик №30(527), 2020, 1-6-р тал.