

Улсын бүртгэлийн
дугаар.....

Аравтын бүрэн
Ангиллын код.....

Нууцын зэрэглэл:

Сэдэвт ажлыг хэрэгжүүлэх
гэрээний дугаар:
ШуСк /ОХУ/2018/203

**ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СУРГУУЛЬ**

**ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ҮР АШГИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ, ЭКОЛОГИЙН
ҮЗҮҮЛЭЛТИЙГ САЙЖРУУЛАХ ЗОРИЛГООР ЭРГЭХ БУЦЛАХ ДАВХАРГАД
МОНГОЛЫН НҮҮРСИЙГ ШАТААХ ТЕХНОЛОГИЙН
ШИНЭЧЛЭЛ БА СУДАЛГАА**

Суурь судалгааны төслийн тайлан

2018 - 2022

Төслийн удирдагч:

Санхүүжүүлэгч байгууллага:

Тайлан өмчлөгч:

Академич, док. (D.Sc), профессор Х.Энхжаргал

Шинжлэх Ухаан, Технологийн сан

ШУТИС, Эрчим Хүчний Сургууль

СБД, Бага тойруу

Улаанбаатар 14191

Утас: +976-99119896

Э хаяг: enkhjargal@must.edu.mn

УЛААНБААТАР ХОТ

2022 ОН

ТӨСЛИЙН БАГИЙН ГИШҮҮДИЙН ТОВЧ ТАНИЛЦУУЛГА

- **Ажлын удирдагч: Халтарын Энхжаргал**

- Эрхэлж буй ажил:



ШУТИС-Дулаан техник, үйлдвэр экологийн
хүрээлэнгийн захирал

- Боловсрол:

1975-1980 онд МУИС, ЭХФ-ийн Дулааны
инженерийн ангийг төгссөн.

1988-1991 онд аспирантур төгссөн.

2008-2012 онд докторантур төгссөн

1990 онд Монгол улсын зөвлөх инженер

- Эрдмийн цол:

1995 онд дэд профессор

2002 онд профессор

2018 онд Монголын ШУ-ны академийн жинхэнэ гишүүн, Академич

- **Багийн гишүүн: Сэрээтэрийн Батмөнх**



- Эрхэлж буй ажил:

ШУТИС-ЭХС-ийн инженерийн ахисан түвшний
салбарын зөвлөх профессор

- Боловсрол:

1965-1970 онд ОХУ, УГТУ-УПИ, ЭХФ-ийн Дулааны
инженерийн ангийг төгссөн.

1979 онд Ашхабад, ФТИ аспирантур төгссөн.

1989 онд РАН. СО ИСЭН докторантур төгссөн

- Эрдмийн цол:

1991 онд дэд профессор

1995 онд профессор

1991 онд Монголын ШУ-ны академийн жинхэнэ гишүүн, Академич

- **Багийн гишүүн: Должинсүрэнгийн Балдандорж**



- Эрхэлж буй ажил:
ШУТИС-ЭХС-ийн инженерийн ахисан түвшний салбарын ахлах багш
- Боловсрол:
1995-2000 онд ШУТИС-ЭХИС-ийн Дулааны цахилгаан станц, дулааны инженер.
2000-2001 онд ШУТИС-ЭХИС-ийн Дулааны цахилгаан станц, техникийн ухааны магистр.
2011 онд ШУТИС-ийн докторантур төгссөн

- **Эрдмийн цол:**

2021 онд дэд профессор

- **Багийн гишүүн: Доржийн Даваацэрэн**



- Эрхэлж буй ажил:
ШУТИС-ЭХС-ийн Дулааны инженерийн салбарын хөтөлбөр хариуцсан дэд профессор
- Боловсрол:
1999-2004 онд ШУТИС-ЭХИС-ийн Дулааны цахилгаан станц, дулааны инженер.
2004-2005 онд ШУТИС-ЭХИС-ийн Дулааны цахилгаан станц, техникийн ухааны магистр.
2015 онд ОХУ, Уралын Холбооны Их Сургуулийн

докторантур төгссөн

ГАРЧИГ

1.	ОРШИЛ	4
2.	СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ЗОРИЛГО, ЗОРИЛТ	6
3.	ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ НҮҮРС, ТЭДГЭЭРИЙН ҮР АШГИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ БОЛОН ЭКОЛОГИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙГ САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖ, НӨХЦЛИЙН СУДАЛГАА	7
	3.1. Нүүрсний макро ба микро бүтэц, тэдгээрийн ангилал	8
	3.2. Монгол улсад орших нүүрсний ордуудын судалгаа	10
	3.3. Нүүрсний экологийн үзүүлэлтийн судалгаа	19
	3.3.1. Утааны хийтэй хаягдаж байгаа бохирдуулагч бодисыг хэвийн нөхцөлд шилжүүлэн тооцох арга зүй, аргачлал	19
	3.4. Шаталтын бүтээгдэхүүний бүтэц ба экологийн үзүүлэлт	20
4	ШИВЭЭ-ОВООГИЙН УУРХАЙН НҮҮРСНИЙ ТАЛААР ХИЙГДСЭН СУДАЛГААНЫ АЖЛУУД	24
5	ШИВЭЭ-ОВООГИЙН УУРХАЙН НҮҮРСНИЙ ФИЗИК- ХИМИЙН СУДАЛГАА	26
	5.1. Шивээ-Овоогийн нүүрсний дулаан техникийн тооцооны үзүүлэлт	26
	5.1.1. Нүүрсний минералогийн болоод дулааны физикийн шинж чанарын нарийвчилсан судалгаа	26
	5.1.2. Шивээ-Овоогийн нүүрс	27
	5.2. Шивээ-Овоогийн нүүрсний үзүүлэлтийн судалгаа	34
6	ТООСОН НҮҮРСНИЙ ГАЛЫН ХОТЛЫН СУДАЛГАА	40
	6.1. Галын хотол дахь хатуу түлшний шаталтын механизм	40
	6.2. БКЗ-420-140 маягийн зуухны галын хотлын аэродинамик загварчлалын судалгааны зарим үр дүн	41
	6.3. Улаанбаатар хотын ДЦС-4 ТӨХК-ийн БКЗ-420-140 зуухны халах гадаргуугийн шааргадалтыг тогтоох дулаан техникийн иж бүрэн туршилт судалгааны ажлын зарим үр дүн	48
7	НҮҮРСНИЙ ЭГЭЛ ХЭСГИЙН ДУЛААНЫ БОЛОН ШАТАЛТЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЧЛАЛ	54
	7.1. Математик загварчлалын боловсруулалт, нүүрсний дулааны бэлтгэл болон шаталтын процессийн судалгаа	54
	7.2. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессийн загварчлал	54
	7.2.1. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессийн бодлогын тавил ба шийдэл	54
	7.2.2. Нүүрсний эгэл хэсэг дэх стационар бус орон дахь дулааны уян харимхайн хүчдэл	61
	7.3. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессийн математик загварчлал	64
	7.3.1. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессийн физик үндэс	64
	7.3.2. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессийн бодлогын тавил	64

	7.3.3. Хаталтын процессийн тооцооны үр дүнгийн томъёо ба график	72
	7.4. Нүүрсний эгэл хэсгийн дэгдэмхий эдийн ялгаралтын динамик болон термодеструкцийн математик загварчлалын судалгаа	74
	7.4.1. Нүүрсний эгэл хэсгийн дэгдэмхий эдийн ялгаралт болон термодеструкцийн математик загварчлалын томъёолол	74
	7.4.2. Тооцоо болон туршилтын өгөдлийн харьцуулалт	83
	7.5. Хүрээлэн буй орчны цацрагийн болон конвекцийн нөхцөл дэх нүүрсний эгэл хэсгийн шаталтын үе шатны судалгаа	84
	7.5.1. Бодлогын математик тавилын зарчим	84
	7.5.2. Бодлогын тавил ба түүний тавил	87
	7.6. Нүүрсний эгэл хэсгийн шаталтын төгсгөлийн үе	91
	7.6.1. Нүүрсний үлдэгдэл хэсгийн хатаалгатай хамт явагдах шаталт	91
	7.6.2. Хатсан коксын үлдэгдлийн шаталт	95
8	ШИВЭЭ-ОВООГИЙН НҮҮРС ТҮЛЖ БУЙ E-420-140 МАЯГИЙН ЗУУХЫГ ШИНЭЧЛЭХ ДУЛААНЫ ТООЦОО	99
	8.1. Түлшний болон зуухны дулааны балансын тооцоо	99
	8.2. Буцаах циклоны тооцоо, буцлах давхаргын хийц	103
9	ДҮГНЭЛТ	108
10	АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ	110
11	ЭХС-ийн эрдмийн зөвлөлийн хурлын протокол	
12	МУ-ын ШУА-ийн техник, технологийн салбарын бага чуулганы хурлын протокол	
13	Х.Энхжаргал нар. Шивээ-Овоогийн нүүрсийг шатаах технологийн судалгааны зарим үр дүн (өгүүлэл)	

1. ОРШИЛ

XX зууны дунд үеэс эхлэсэн эрчим хүчний хөгжил зуун дамнан үргэлжилсээр өнөө үетэй золгосон бөгөөд өнөөдрийн байдлаар дэлхийн улс орнууд эрчим хүчний хязгаарлагдмал эх үүсвэрийг, өөрийн нөөц боломжид тулгуурлан удирдан хөгжүүлэхийн зэрэгцээ байгаль экологид ээлтэй, агаарын бохирдлыг бууруулахуйц эрчим хүч үйлдвэрлэх шинэ техник технологийг бий болгох, улмаар үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх талаар олон тооны судалгаа, шинжилгээний ажлуудыг хийж гүйцэтгэж байна. Дэлхийн эрчим хүчний хөгжлийн бодлого, чиглэлийн хүрээнд Монгол Улсын Засгийн газраас “Эрчим хүч хэмнэх үндэсний хөтөлбөр”-ийг батлан гаргаад байна.

Манай улсад 1924 оноос анх үндэс суурь нь тавигдсан манай эрчим хүчний салбар өнөөдрийн байдлаар улс орны эдийн засаг, нийгмийн бүх салбарт үйлчилж, өргөн уудам газар нутгийнхаа хүн ам суурьшсан суурин газрууд болон айл өрх бүрт хүрсэн том салбар болон хөгжиж ирсэн. Тус салбар Баруун бүсийн эрчим хүчний систем, Алтай-Улиастайн эрчим хүчний систем, Дорнод бүсийн эрчим хүчний систем, Төвийн бүсийн эрчим хүчний систем гэсэн 4 бие даасан систем ба Даланзадгадын ДЦС, бусад дизель станцууд болон зарим сэргээгдэх эрчим хүчний үүсвэрүүдээс бүрдэж байна.

Манай улсын эрчим хүчний салбарын хөгжлийн хэтийн төлөв, хөгжлийн бодлогын хүрээнд Эрдэнэбүрэнгийн усан цахилгаан станц, Эгийн голын усан цахлигаан станцуудыг барьж ашиглалтанд оруулахаар төлөвлөсөн, говийн ба төвийн бүсэд (Салхитын хөндийн, Цэций болон Сайншандын нийлбэр хүчин чадал нь 150 МВт чадалтай) салхин цахилгаан станцуудыг ашиглалтанд оруулсан, Дарханы нарны станц, Эвридэй фарм компаний нарны станцуудаас гадна Нарантээг, Сүмбэр, Хөшигтийн хөндийн нарны цахилгаан станцуудыг ашиглалтад оруулахаар ажиллаж байна. Эдгээр төслүүдээс гадна ДДЦС болон ЭДЦС-ын хүчин чадлыг тус бүр 35 МВт-аар өргөтгөх, Улаанбаатар хотын 3-р ДЦС-ын хүчин чадлыг 250 МВт чадалтай шинэ блокоор өргөтгөн шинэчлэх, Чойбалсангийн ДЦС-ын хүчин чадлыг 50 МВт-аар өргөтгөх зэрэг төс лийн ажлууд явагдаж байна. Мөн эрчим хүчний тасралтгүй, найдвартай байдлыг сайжруулах, зүүн хойд Азийн Супер сүлжээ байгуулах болон эрчим хүч экспортлох ажлын хүрээнд Таван толгойн 450 МВт чадалтай цахилгаан станц барих, Төвийн бүсэд шинэ ДЦС барих (баригдаж байгаа Багануурын цахилгаан станцаас тусдаа), Шивээ-Овоогийн уурхайг түшиглэн цахилгаан эрчим хүч экспортлох цахилгаан станц барих зэрэг төслийн ажлуудыг эхлүүлээд байна [3].

Эдгээр төслүүдээс хамгийн том нь Шивээ-Овоогийн уурхайг түшиглэн баригдах цахилгаан станцын төсөл бөгөөд уг станцын төслийн чадал нь 5280 МВт буюу 660 МВт

чадалтай 8 блок суурилуулахаар төлөвлөөд байна. Үүнтэй зэрэгцэн Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрс олборлолтын хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх төсөл хэрэгжиж эхлээд байгаа бөгөөд төслийн үр дүнд тус уурхайн нүүрс олборлолтын хэмжээ 20 гаруй сая.тн хүрэх юм. Мөн дээрх энергийг дамжуулж эрчим хүч экспортлох 600 КВ хүчдэл дамжуулах өндөр хүчдэлийн 435 км шугам барих төсөл хийгдэхээр төлөвлөөд байна.

Монгол улсын төрөөс эрчим хүчний талаар баримтлах бодлого [14] нь эрчим хүчний салбарын өнөөгийн нөхцөл байдал, тулгамдаж буй бэрхшээл, нөөц боломжийг дүгнэн, 3 тэргүүлэх чиглэлийн хүрээнд, стратегийн 6 зорилго, 26 зорилтыг тодорхойлж, тэдгээрийг 2015-2023, 2024-2030 он гэсэн хоёр үе шаттайгаар хэрэгжүүлэхээр шийдвэрлэсэн байна.

Манай улс нүүрс, газрын тос, шатдаг занар, байгалийн хий, уран, сэргээгдэх эрчим хүчний нөөцийн талаарх судалгааг тодорхой хэмжээнд гаргасан билээ. Одоогийн байдлаар эрчим хүчний нийт хэрэглээний 85 хувийг нүүрснээс авч байгаа бол бусад эх үүсвэрийг, ялангуяа сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг үе шаттайгаар өсгөхөөр тусгаж 2020 он гэхэд нар салхи усны эх үүсвэрээр эрчим хүчний хэрэгцээ, үйлдвэрлэлд эзлэх хувийг 20 хувьд, 2030 он гэхэд 30 хувьд хүргэх зорилтыг хөтөлбөрт тусгасан. Цаашид 2030 он гэхэд эрчим хүчний салбарт хувийн хэвшлийн эх үүсвэр давамгайлж, дамжуулах, түгээх сүлжээ бүрэн үе шаттайгаар хувьчлагдсан байхаар бодлогын баримт бичигт тусгагдсан байна.

2. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ЗОРИЛГО, ЗОРИЛТ

“Эрчим хүчний үр ашгийг дээшлүүлэх, экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах зорилгоор эргэх буцлах давхаргад Монголын нүүрсийг шатаах технологийн шинэчлэл ба судалгаа” сэдэвт гадаад улстай хамтарсан судалгааны ажил нь Шивээ-Овоогийн нүүрсний судалгааны ажлуудад тулгуурлан Монгол улсын эрчим хүчний системийн үр ашгийг дээшлүүлэх, уг ордын нүүрсийг шатаах үеийн экологийн үзүүлэлтийг сайжруулж түүнийг шатаах шинэ технологийг судлах тэдгээрийн үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломжийг тодорхойлоход судалгааны ажлын зорилго оршино. Судалгааны ажлын эл зорилгыг хэрэгжүүлэхийн тулд доорх зорилтуудыг дэвшүүлэв.

- Эрчим хүчний нүүрсний үр ашгийг дээшлүүлэх, экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах чиглэлээр хийгдсэн ажлын талаарх материалын сан бүрдүүлэх;
- Монгол улсын нүүрсний зарим орд газар, тухайлбал Шивээ-Овоогийн нүүрсний бүтцийг өнөөдрийн түвшинд тодорхойлж физик, химийн судалгааг хийх;
- Эргэх буцлах давхаргад шатаах нүүрсний үеийн зузааныг тогтоож, математик модель боловсруулах;
- Экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах зорилгоор эргэх буцлах давхаргад монголын нүүрсийг шатаах шинэ технологийн зуухыг бий болгох;

Судалгааны ажлын хүрээнд тавьсан зорилтуудыг биелүүлэхийн тулд дараах ажлууд хийгдэнэ.

1. Эрчим хүчний нүүрсний үр ашгийг дээшлүүлэх, экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах чиглэлээр хийгдсэн ажлын талаарх судалгааны ажлуудтай танилцаж сан бүрдүүлэх;
2. Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний судалгааны ажилд зориулан дээж бэлтгэн шинжлүүлсний дүнд түүний элементийн бүтцийг тодорхойлж физик, химийн судалгааг хийх;
3. Эргэх буцлах давхаргад шатаах нүүрсний шаталтын үеийг тогтоож, математик модель боловсруулах;
4. Монголын нүүрсийг шатаах шинэ технологийн зуух бий болгох;
5. Судалгааны ажлын эцсийн тайлбан бичиж хүлээлгэн өгөх;

3. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ НҮҮРС, ТЭДГЭЭРИЙН ҮР АШГИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ БОЛОН ЭКОЛОГИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙГ САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖ, НӨХЦЛИЙН СУДАЛГАА

Органик ургамалын үлдэгдэл олон мянган жилийн турш газрын хөрсөн дор агааргүй орчинд оршихдоо бактериудын тусламжтайгаар өөрчлөгдөн, задрах процесст орж анхдагч органик бодисуудын хувирал аажмаар нүүрсжиж эхлэжээ. Өөрөөр хэлбэл нүүрстөрөгчийн хэмжээ ихсэж, хүчилтөрөгч, устөрөгч, азотын хэмжээ буурсан байна. Энэ процессийн дүнд анхдагч органик түлш болох хүлэр, түүний дараа хүрэн ба чулуун нүүрс, антрацит бий болсон байна.

Түлшийг төлөв байдлаар нь хатуу, шингэн, хийн түлш гэж ангилах ба гарган авах аргаар нь байгалийн ба зохиомол гэж ангилна. Мөн дулаан гаргах чадварын хэмжээгээр нь эрчим хүчний буюу технологийн гэж ангилдаг [1-8].

Европ, ОХУ, Монгол зэрэг зарим улсуудад нүүрсийг хувирлын зэргээр нь хүрэн нүүрс, чулуун нүүрс, антрацит гэж ангилдаг бол АНУ, Канад, Австрали зэрэг улсуудад лигнит, саббитум, битум ба антрацит гэж ангилдаг [9-11].

Эрчим хүчний нүүрс нь технологийн бусад салбарт үнэт түүхий эд болдоггүй бөгөөд ДЦС-уудад хүрэн ба чулуун нүүрс, түлшний дахин боловсруулалтын үлдэгдэл болох мазут, байгалийн хий зэргийг ашиглана. Түлшний ангиллыг 3.1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 3.1

Түлшний ангилал			
Түлш	Хатуу	Шингэн	Хий
Байгалийн	Мод Хүлэр Хүрэн нүүрс Чулуун нүүрс Антрацит Шатдаг занар	Нефть	Байгалийн хий
Зохиомол	Хагас кокс Кокс Хүлэр Нүүрсний шахмал	Бензин Лигроин Керосин Солярк ба бусад масло Мазут	Нефтийн хий Хагас коксын хий Коксын хий Генераторын хий Доменгийн хий Газрын дор хатуу түлшийг хийжүүлэхэд үүссэн хий

Хатуу түлшний, өөрөөр хэлбэл нүүрсний ажлын массаар илэрхийлэгдсэн дулаан гаргах доод чадварын хэмжээ $Q_H^P \leq 3500$ кКал/кг байвал эрчим хүчний түлш буюу эрчим

хүчний нүүрс гэх ба ажлын массаар илэрхийлэгдэх дулаан гаргах доод чадварын хэмжээ $Q_{н^p} \geq 3500$ кКал/кг байвал технологийн нүүрс буюу технологийн түлш гэнэ [3-7].

3.1. Нүүрсний макро ба микро бүтэц, тэдгээрийн ангилал

Нүүрсний макро бүтэц: Нүүрсний бүтэц нь өөртөө агуулагдаж буй элементийн шинж чанараас хамааран энгийн нүдээр ажиглахад нэгэн төрлийн бус бүтцийг харуулдаг. Нүүрсний бүтцийг томруулан харвал насжилт, бүтэц, найрлага зэргээс хамааран янз бүрийн мөхлөгүүдээс тогтсон болох нь батлагддаг. Нүүрсний хэлтэрхий нь янз бүрийн өнгө агуулсан, хуудаслаг эдүүдээс үелэн тогтсон байвал түүнийг судалт нүүрс гэнэ.

Нүүрсийг макро бүтцийнх нь хувьд 4 зүйл бүтцийн хэлбэрийг үзүүлдэг болохыг М.Стопс тодорхойлсон байдаг ба тэдгээр нь:

1. Витрен буюу шилэн бүтэц нь линз хэлбэрийн хуулдас байдлаар тохиолдох ба дотоод бүтэц нь харьцангуй нэгэн төрлийн судаллаг бус, төлөв байдал нь царцаж тогтсон цавуу мэт байдаг.

2. Кларен буюу өнгөлөг бүтэц нь харагдах байдлаараа витрений дараа ордог бөгөөд давирхай мэт өнгөлөг, зөөлөн, хэврэг, нэгэн төрлийн бүтэц байхгүй, хуудаслаг байдлаар тохиолдоно.

3. Фюзен буюу сунамал нүүрс нь хар, хар саарал өнгөтэй, жижиг линз хэлбэрийн хуудаслаг байдлаар тохиолдох ба модны нүүрсний шинж чанарыг үзүүлэхийн зэрэгцээ амархан бутарна.

4. Дюрен буюу хатуу бүтэц нь бүх төрлийн өнгийг үзүүлэх ба судаллаг бус нилээд зузаан хуудаслаг хэлбэртэй хатуу түлш юм [8-10].

ОХУ-ын эрдэмтэд дээрх ангилалаас гадна хүрэн нүүрсийг ажлын масст агуулагдах чийглэгийнх нь хэмжээгээр Б1 ($W^p > 40\%$), Б2 ($W^p = 30...40\%$), Б3 ($W^p < 30\%$) гэж ангилахаас гадна чулуун нүүрсийг дэгдэмхий эдийн хэмжээгээр нь Д - урт дөлт ($V_{л^r} \geq 36\%$), Г - хийжих ($V_{л^r} \geq 36\%$), ГЖ – тослог, хийжих ($V_{л^r} = 31...37\%$), Ж - тослог ($V_{л^r} = 24...37\%$), К - коксжих ($V_{л^r} = 17...33\%$), СС - сулавтар наалдамтгай ($V_{л^r} = 17...37\%$), Т – тураг буюу хатингар ($V_{л^r} = 9...17\%$) нүүрс гэж ангилдаг [3-7].

Нүүрсний микро бүтэц: Нүүрсний микро бүтцийг микроскопоор ажиглахад өнгө хэлбэр, дүрсийн хувьд харилцан адилгүй бүтцийг үзүүлдэг. Эрдэмтэд нүүрсний бичил бүтцийн ангилалыг янз бүрээр авч үздэг боловч зонхилох ангиллыг дараах 3.2 дугаар хүснэгтэд үзүүлэв.

Нүүрсний микро бүтцийн ангилал

Микро бүтэц	Витринит	Теллинит
		Коллинит
		Семиколлинит
		Семителлинит
	Инертинит	Семифюзенит
		Фюзенит
		Макронит
		Склеротонит
	Липтинит	Споронит
		Кутинит
		Резинит
	Эрдэс бодис	Шаварлаг эрдсүүд
		Төмрийн сульфидууд
Карбонатууд		
Бусад эрдсүүд		

Витринит: Энэ нь гуминиттэй тун ойролцоо шинж чанарыг үзүүлэх учир түүний ангилалд хамааруулах нь бий. Нүүрсний гол бүрдүүлэгч бүлэг болох ба лигнит ба эслэгийн нүүрсжилтээр ургамалын навч болон модлог эдээс үүссэн гэж үздэг. Энэ бүлгийг бүрдүүлэгч хэсгүүдийн бүтэц, физик, химийн шинж чанараараа төстэй бөгөөд эх бодист гарсан хувирал өөрчлөлт гүн агуулагддаг учраас нүүрсний насжилт, хувирлын зэргийг тодорхойлогч, үндсэн шинж чанарыг илэрхийлэгч нь болдог. Ийм учраас витринитийн гэрэл ойлгох чанарын тоон илэрхийллээр нүүрсний насжилт хувирлын зэргийг илэрхийлдэг. Витринитийн дэгдэмхий эдийн гаралт 35...40%, хагас коксжилтын давирхайн гарц 12...14 %, бөсөх чанартай нүүрсний витринит 350...450 °C-д бөсч хөөмөл кокс үүсгэнэ. Витринит ихтэй нүүрс сайн чанартай нүүрс байдаг бөгөөд халуун химийн аргаар боловсруулахад тохиромжтой.

Липтинит: Энэ нь экзинит гэсэнтэй ижил утга илэрхийлэх ба хөх ногоон замаг, ургамалын хөврөл, тоосонцорын үлдэгдэл, полимержсэн давирхай, тос, лав агуулсан массаас тогтоно. Экзинитийн халууны задралын үед түүний массын 60...90% нь дэгдэмхий бүтээгдэхүүн үүснэ. Энэ бүтээгдэхүүний хагас кокс ялгарах үеийн давирхайн гарц нь 40...50 % хүрнэ. Ийм учраас экзинит ихээр агуулсан нүүрсийг халуун ба химийн аргаар боловсруулах нь нэн тохиромжтой.

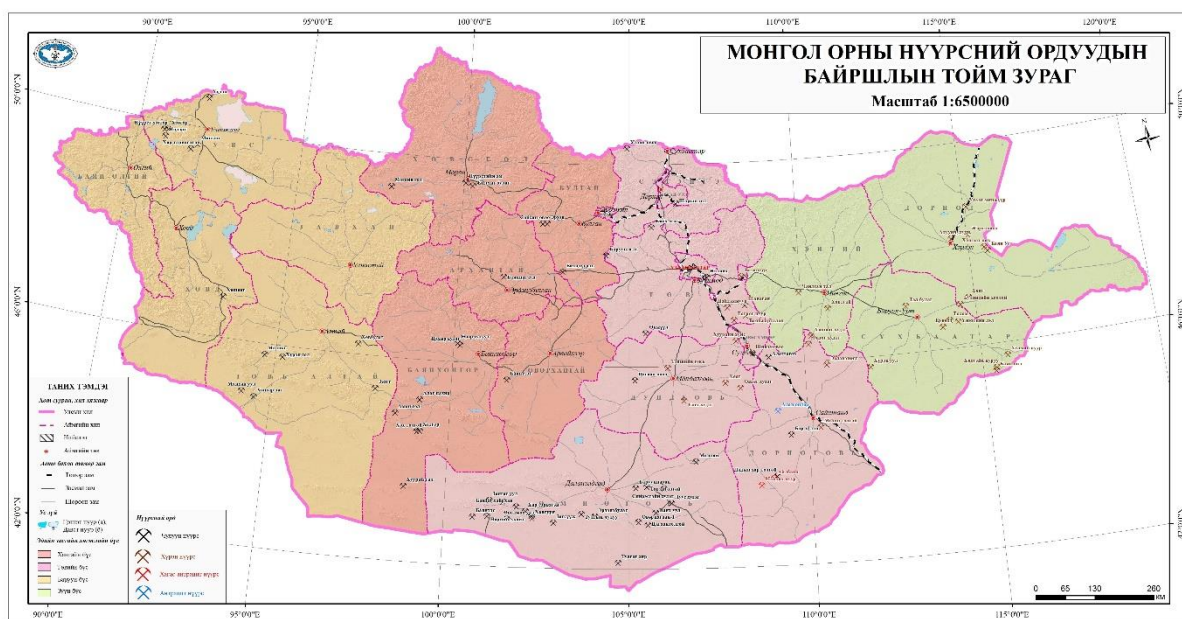
Инертинит: Энэ нь ерөнхий байдлаараа фюзинит шинж чанарыг илэрхийлэх ба шатсан содны нүүрс, мөөгөнцрийн исэлдсэн үлдэгдэл, нүүрсустөрөгч зэргээс тогтоно.

Химийн бүтэц талаас нь авч үзвэл гидроксильн бүлэг, ароматик фрагмент ихтэй байх ба дэгдэмхий эдийн агууламж 8...20%, давирхайн гарц 4%-аас ихгүй, химийн идэвхи муутай нүүрсний хэсэг юм. Инертинит ихтэй нүүрс нь чанарын хувьд төдийлөн сайнгүй байх ба халуун химийн аргаар боловсруулахад тохиромжгүй байдаг.

Нүүрсний макро болон микро бүтэц, дулаан техникийн шинж чанарын талаар цөөнгүй ажлууд хийгдсэн байдаг [3-12].

3.2. Монгол улсад орших нүүрсний ордуудын судалгаа

Монгол улс нь хүрэн болон чулуун нүүрсний арвин их нөөцтэй бөгөөд улсын хэмжээнд 300 гаруй нүүрсний орд илрээд байгаа бөгөөд нүүрсний нөөцийн тархалтыг зарим бүс нутагт бүрэн тогтоогоогүй, өөрөөр хэлбэл өнөөдрийн байдлаар нүүрсний хайгуул бүрэн хийгдээгүй хэд хэдэн аймаг байна. Жишээ нь: Архангай, Баян-Өлгий, Завхан, Орхон, Сэлэнгэ аймгууд юм. Доорх зурагт Монгол улсын нүүрсний ордуудын байршлын тойм зургийг үзүүлэв [8].



Зураг 3.1. Монгол орны нүүрсний ордуудын тойм зураг

Монгол улсын ашигт малтмал, нүүрсний орд газруудын байршлыг эдийн засгийн бүсчлэлд хамааруулан авч үзсэн байдаг бөгөөд энэ үнэлэмжээр эдийн засгийн төвийн бүс, баруун болон зүүн бүс гэж эрдэмтэд хуваан авч үзсэн байдаг [6, 9, 10, 13].

УЛААНБААТАР ХОТ: Нийслэл хотод маань Багануурын болон Налайхын уурхайнууд харъялагддаг боловч Налайхын уурхай нь зах зээлийн хүнд жилүүдэд хот байгуулалтын болон уурхай ашиглалтын буруутай үйл ажиллагааны улмаас хаагдсан.

Багануурын нүүрсний орд: Багануурын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн зүгт, Багануур дүүргийн нутагт байх ба тус уурхайн нүүрс нь Б2, Б3 ангилалын

хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3390$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=0,8\%$, үнслэг $A^d= 11,5 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 43,5 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 304,05 тэрбум.тн байна.

Бусад нүүрсний ордуудыг уурхайн нэр болон ордын нэрний дагуу, аймаг аймагаар нь дор авч үзсэн ба Багануурын уурхайг төв аймгийн нутагт хамааруулан товч байдлаар бичсэн болно.

1. Баянхонгор аймаг.

А. Галуут сум. Өвөрчулуутын нүүрсний орд: Өвөрчулуутын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос баруун урагш 710 км, Баянхонгор аймгийн төвөөс хойш 60 км, Баян-Овоо сумын төвөөс 30 км зайд тус уурхай байрлана. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 6358$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=27.4 \%$, үнслэг $A^{ad}=5.6 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=45.5 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 3722,8 сая.тн байна.

Б. Шинэжинст сум. Хотгорын нүүрсний орд: Хотгорын нүүрсний уурхай нь Баянхонгор аймгийн төвөөс урагш 265 км, Шинэжинст сумын төвөөс баруун хойш 7 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 8306$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=1.0 \%$, үнслэг $A^d= 13.1 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=33,8 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 160053,61 сая.тн байна.

2. Булган аймаг.

А. Сайхан сум. Эрээний нүүрсний орд: Хойд хэсгийн нүүрсний уурхай нь Булган аймгийн төвөөс баруун урд зүгт байрлана. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}= 7116$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=1.8 \%$, үнслэг $A^{ad}=3.8 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=30.5 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 552 сая.тн байна.

3. Говь-Алтай аймаг.

А. Дэлгэр сум. Хөвбулагийн нүүрсний орд: Хөвбулагийн нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос баруун урагш 913 км, Говь-Алтай аймгийн төвөөс зүүн зүгт 120 км, Дэлгэр сумын төвөөс баруун урагш 18 км зайд байрлана. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 5540$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=3.8 \%$, үнслэг $A^{ad}=9.2 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 44.7 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 961.7 сая.тн байна.

Б. Чандмань сум. Зээгтийн нүүрсний орд: Гобикоул энд энерги нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос баруун урагшаа 965 км, Говь-Алтай аймгийн төвөөс зүүн урагш 200 км, Чандмань сумын төвөөс баруун хойш 9 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}= 6415$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=1\%$,

үнслэг $A^{ad}=25.2$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=39.4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 48790 сая.тн байна.

4. Говьсүмбэр аймаг.

А. Шивээговь сум. Шивээ-Овоогийн нүүрсний орд: Шивээ-Овоогийн нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 260 км, Улаанбаатар-Замын-Үүд чиглэлийн төмөр зам болон авто замын дагуу дэд бүтэц сайн хөгжсөн бүсэд байрладаг. Тус уурхайн нүүрс нь Б1 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}=2998$ кКал/кг, чийглэг $W^l=42$ %, үнслэг $A^{ad}=8.5$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=40.2$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 593,75 сая.тн байна. Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний элементийн бүтэц болон дулаан техникийн үзүүлэлтийн талаар хожим дэлгэрэгүй авч үзэх болно.

5. Дархан-Уул аймаг.

А. Шарын гол сум. Шарын голын нүүрсний орд: Шарын голын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос хойш 215 км, Эрдэнэт хотоос зүүн тийш 175 км, Дархан хотоос зүүн урагш 45 км зайд, шарын гол сумын нутагт оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}=3900$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=18$ %, үнслэг $A^{ad}=28$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=45$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 28053,37 сая.тн байна.

6. Дорноговь аймаг.

А. Даланжаргалан сум. Алагтогоогийн нүүрсний орд газар: Алаг тогоогийн нүүрсний орд газар нь Улаанбаатар хотоос урагш 275 км, Дорноговь аймгийн хойд хэсэгт, Даланжаргалан сумын хойгуур 20-30 км зайд нумран байрлах ба уг ордоос Элдэвийн хэсэг, Далан, Зүүн далан, Баруун далан, Алаг толгод-1, Хойд элдэв, Хойд алаг тогоо зэрэг уурхайнууд олборлолт хийж байна. Тус ордын нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}=3590...6484$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=1.38...3.9$ %, үнслэг $A^{ad}=11.86...28.1$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=3.7...45.43$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ нь эдгээр уурхайн нийлбэрээр 133,188 бэрбум.тн байна.

Б. Иххэт сум. Тахилгат уулын нүүрсний орд: Гал шарын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш, Дорноговь аймгийн хойд захад, Хэнтий аймагтай хиллэн оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б2 ангиллын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}=3499$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=22.11$ %, үнслэг $A^{ad}=21.09$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=30.79$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээг одоогоор бүрэн тодорхойлоогүй байна.

В. Мандах сум. Мандах нуурын нүүрсний орд: Мандах нуурын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 650 км, Сайншанд хотоос баруун урагш 210 км, Мандах сумын төвөөс 110 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь хагас антрацит нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3542,9$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=1,5$ %, үнслэг $A^{ad}=35,7\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=10,4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 11,03 тэрбум.тн байна.

Г. Сайхандулаан сум. Бор хулангийн нүүрсний орд: Бор хулангийн нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 500 км, Сайншанд хотоос баруун тийш 60 км, Сайхандулаан сумын төвөөс зүүн урагш 46 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Г ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 7681$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=3,68$ %, үнслэг $A^{ad}=16,8\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=47,9$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 3.554 тэрбум.тн байна.

Алаг Өндрийн нүүрсний орд: Алан өндрийн антрацитийн нүүрсний уурхай нь Сайхандулаан сумын нутагт байрлах, одоогийн байдлаар Монгол улс дахь цорын ганц антрацитийн орд юм. Тус уурхайн нүүрс нь антрацит бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 7738$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=2,63$ %, үнслэг $A^{ad}=36,87\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=5,5$ %, одоогийн байдлаар нүүрсний нөөцийн хэмжээг бүрэн тодорхойлоогүй байна.

Д. Хөвсгөл сум. Айлбаянгийн нүүрсний орд: Айлбаянгийн нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагшаа 650 км, Сайншанд хотоос баруун урагшаа 190 км, Мандах сумаас 110 км зайд Хөвсгөл болон мандах сумдын нутаг дамнан оршино. Тус уурхайн нүүрс нь К ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 7257$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=0,7$ %, үнслэг $A^{ad}=17$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=24,3$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 13992 тэрбум.тн байна.

7. Дорнод аймаг.

А. Матад сум. Хөөтийн нүүрсний орд: Хөөтийн нүүрсний орд нь Матад сумын төвөөс баруун тийш 50 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б3 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 3900$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=12$ %, үнслэг $A^{ad}=7,5$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=45$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 6,73 сая.тн байна.

Б. Хэрлэн сум (Баянтүмэн, Чойбалсан сум). Адуунчулууны нүүрсний орд: Адуунчулууны нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос 665 км, Дорнод аймгийн төв Хэрлэн сумын төвөөс 6 км зайд, Хэрлэн, Баянтүмэн, Чойбалсан сумдын нутаг дамнан орших ба тус ордод Адуунчулуун болон Урд хэсгийн уурхайнууд олборлолтын ажил

явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь Б1, Б2 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 2978...3570$ кКал/кг, чийглэг $W^t=35,27...41,5$ %, үнслэг $A^d=7,85...8,2$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=30,1...43,2$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 299,26 тэрбум.тн байна.

8. Дундговь аймаг.

А. Баянжаргалан сум. Хөөтийн нүүрсний орд: Уг ордод Хөөт болон Хөөт-1 уурхайнууд харъяалагдах ба уг орд нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 300 км, Мандалговь хотоос зүүн хойш 130 км, Баянжаргалан сумын төвөөс баруун тийш 26 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}=4711...6614$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=3,7...13,6$ %, үнслэг $A^d=16,8$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=44,8$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 33,56 тэрбум.тн байна.

Хар тэвшийн нүүрсний орд: Баянжаргалан сумын нутагт Хар тэвшийн нүүрсний уурхай мөн олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 4442$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,4$ %, үнслэг $A^d=26,9$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=43,4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 4,105 тэрбум.тн байна.

Б. Сайнцагаан сум. Тэвшийн говийн нүүрсний орд: Тэвшийн говийн нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос урагш 240 км, Дундговь аймгийн төвөөс баруун хойш 28км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б3 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 4192$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 8,3$ %, үнслэг $A^d=13,3$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=51,5$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 34,83 тэрбум.тн байна.

9. Өвөрхангай аймаг.

А. Нарийнтээл сум. Баянтээгийн нүүрсний орд: Баянтээгийн нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос баруун урагш 560 км, Баянхонгор аймгийн төвөөс 100км, Өвөрхангай аймгийн төвөөс 130 км, Нарийнтээл сумын төвөөс 45 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь хагас коксжих К ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 6354$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,5$ %, үнслэг $A^d=9,3$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=48,4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 29,69 тэрбум.тн байна.

10. Өмнөговь аймаг.

А. Баян-Овоо сум. Бант-Уулын нүүрсний орд: Цант-уулын нүүрсний уурхай нь Өмнөговь аймгийн Баян-овоо сумны нутагт байрлана. Тус уурхайн нүүрс нь Д, Г ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 5781,1$ кКал/кг, чийглэг $W^t= 4.58$ %, үнслэг $A^d=18,62$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=52,87$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 28,271 тэрбум.тн байна.

Б. Гурвантэс сум. Хайрхан толгойн нүүрсний орд: Хайрхан толгой коал нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос баруун урагш 820 км, Даланзадгад хотоос баруун тийш 315 км, Гурвантэс сумын төвөөс зүүн тийш 50 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 7358,4$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 13,93$ %, үнслэг $A^{ad}= 21,47$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=27,22$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 42,87 тэрбум.тн байна.

Нарийн сухайтын нүүрсний орд: Нарийн сухайтын нүүрсний орд газарт Хүрэн толгой, Нарийн сухайт, Овоот толгой, Хүрэн шандын нүүрсний уурхайнууд олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байгаа бөгөөд уг орд нь Улаанбаатар хотоос баруун урагш 849 км, Өмнөговь аймгийн төвөөс баруун тийш 296км, сумын төвөөс зүүн урагш 34 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь К болон ПК ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 6436,8...7264$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 1,1...2,45$ %, үнслэг $A^d=7,7...11,79$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=24,35...36,7$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 805,87 тэрбум.тн байна.

Зангат-Уулын нүүрсний орд: Өмнөговь аймгийн Гурвантэс сумын төв нь Зангат-Уулын нүүрсний уурхайн баруун урд захад оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 7091$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 23,1$ %, үнслэг $A^d=55,5$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=26$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 18,1 тэрбум.тн байна.

Баянтэсийн нүүрсний орд: Баянтэсийн нүүрсний уурхай нь Өмнөговь аймгийн Гурвантэс сумын нутагт байрлах арвин нөөцтэй уурхайнуудын нэг юм. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 6000$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 4$ %, үнслэг $A^d=11$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 31,5$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 54,48 тэрбум.тн байна.

Сүмбэрийн нүүрсний орд: Гурвантэс сум нь нүүрсний асар их нөөцтэй цөөн сумдын нэг бөгөөд энд сүмбэрийн нүүрсний уурхай оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 5392$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,58$ %, үнслэг $A^d = 28$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf} = 17,3$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 62,71тэрбум.тн байна.

В. Ноён сум. Баруун ноён уулын нүүрсний орд. Баруун ноён уулын нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос 800 км, Даланзадгад хотоос баруун зүгт 210 км, Ноён сумын төвөөс зүүн урагш 25...30 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь К ба ОС-К ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 6500$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=4\%$,

үнслэг $A^d=22\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=26,59...30\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 21,11 тэрбум.тн байна.

Г. Ханхонгор сум. Баруун нарангийн нүүрсний орд: Баруун нарангийн нүүрсний уурхай нь Даланзадгад хотоос хойд зүгт 30 км-т байх Ханхонгор сумын нутагт оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}=6625\text{кКал/кг}$, чийглэг $W^{ad}=1,41\%$, үнслэг $A^d=17,21\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=35,79\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ одоогоор бүрэн тодорхойлогдоогүй байна.

Д. Цогтцэций сум. Таван толгойн нүүрсний орд: Таван толгойн нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос урагш 550 км, Өмнөговь аймгийн төвөөс зүүн хойш 95 км, цогтцэций сумын төвөөс баруун урагш 16 км зайд орших ба тус ордод 4, 8-р ам, Цанхын зүүн, Цанхын баруун, Ухаа худаг зэрэг уурхайнууд олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь К ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}=6086...8600\text{кКал/кг}$, чийглэг $W^{ad}=0,5...1,1\%$, үнслэг $A^{ad}=14,3...21,6\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=25,33...29,5\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 1960,1 тэрбум.тн байна.

11. Сүхбаатар аймаг.

А. Сүхбаатар сум. Тал булагийн нүүрсний орд: Тал булагийн нүүрсний орд нь Сүхбаатар аймгийн Сүхбаатар сумын нутагт орших ба тус ордод Тал булаг, Тал булаг-2, гэсэн 2 уурхай олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь Б2, Б3 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}=2977...3913\text{кКал/кг}$, чийглэг $W^{ad}=2,8...4,65\%$, үнслэг $A^{ad}=34,9\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=42,75...45,9\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 58,57 тэрбум.тн байна.

Төхөмийн нүүрсний орд: Сүхбаатар сумын нутагт үйл ажиллагаа явуулж буй уурхайн нэг нь Төхөмийн баруун урд жигүүр хэсгийн уурхай юм. Тус уурхайн нүүрс нь Б2 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}=4761\text{кКал/кг}$, чийглэг $W^{ad}=13,64\%$, үнслэг $A^d=13,89\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=47,6\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 68,87 тэрбум.тн байна.

Б. Эрдэнэцагаан сум. Сайнхөөврийн нүүрсний орд: Сайнхөөврийн нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 720 км, Сүхбаатар аймгийн төв Баруун-Урт хотоос зүүн урагш 265 км, Эрдэнэцагаан сумын төвөөс урагш 50 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б1 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}=3500\text{кКал/кг}$, чийглэг $W^{ad}=28\%$, үнслэг $A^d=24,5\%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=28,5\%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 44.53 тэрбум.тн байна.

Баянцогтын нүүрсний орд: Баянцогтын нүүрсний орд газарт Баянцогт, Баянцогт-1 гэсэн 2 уурхай олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь Б1 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 3500$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 28$ %, үнслэг $A^d=24,6$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 28,4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 3,999 тэрбум.тн байна.

Хулман нуурын нүүрсний орд: Хулман нуурын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 760 км, Эрдэнэцагаан сумын төвөөс зүүн урагш 46 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б1 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3728$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 13$ %, үнслэг $A^{ad}=15$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=46,4$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 76,463 тэрбум.тн байна.

12. Төв аймаг.

А. Баян сум, Баянжаргалан сум. Цайдам нуурын нүүрсний орд: Цайдам нуурын нүүрсний ордоос Бөөрөлжүүт болон Цайдам нуурын уурхайнууд олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байгаа бөгөөд энэ орд нь Төв аймгийн Баян болон Баянжаргалан сумдын нутаг дамнан оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б2, Б3 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3252$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 10,99$ %, үнслэг $A^d=18,87$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=11,07...54,3$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ урьдчилсан байдлаар 399,3 тэрбум.тн гэж тогтоогджээ.

Төгрөг нуурын нүүрсний орд: Төгрөг нуурын нүүрсний уурхай нь Төв аймгийн Баян болон Баянжаргалан сумдын нутаг дамнан оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б2 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3000$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=4,42\%$, үнслэг $A^d=18,35$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}=47,05$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 228,34 тэрбум.тн байна.

13. Увс аймаг.

А. Бөхмөрөн сум. Нүүрстхотгорын нүүрсний орд: Нүүрстхотгорын нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос баруун хойш 1700 км, Увс аймгийн төвөөс 130 км, Бөхмөрөн сумын төвөөс зүүн хойш 60 км зайд орших ба уг ордод Нүүрстхотгор болон Хотгорын уурхайнууд олборлолтын үйл ажиллагаа явуулж байна. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 5369$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,6...8,3$ %, үнслэг $A^d= 5,3...23,8$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 30,3$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 13,28 тэрбум.тн байна.

Хотгорын нүүрсний орд: Хотгорын нүүрсний уурхай нь Увс аймгийн Бөхмөрөн сумын нутагт байрлана. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах

чадвар $Q^{ar}= 5986$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,4$ %, үнслэг $A^{ad}= 22,5$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 31,8$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 8,41 тэрбум.тн байна.

Б. Тариалан сум. Хар тарвагатайн нүүрсний орд: Хар тарвагатайн нүүрсний уурхай нь, Увс аймгийн төв Улаангом хот нь Улаанбаатар хотоос баруун хойш 1336 км, Увс аймгийн төвөөс 100 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Д ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{daf}= 6692$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 3,5$ %, үнслэг $A^{ad}= 13,55$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 32,95$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 25,702 тэрбум.тн байна.

Их мянганы нүүрсний орд: Их мянганы нүүрсний уурхай нь Увс аймгийн Тариалан сумын нутагт оршино. Тус уурхайн нүүрс нь БЗ ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3622$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 18,55$ %, үнслэг $A^d= 28$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 40,85$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ нь бүрэн тодорхойлогдоогүй байна.

14. Ховд аймаг.

А. Дарви сум. Хөшөөтийн нүүрсний орд: Хөшөөтийн нүүрсний орд нь Ховд аймгийн Дарви сумын нутагт орших, арвин нөөцтэй, чанартай нүүрс бүхий уурхайнуудын нэг юм. Тус уурхайн нүүрс нь К ангилалын чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ad}= 6142$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,5$ %, үнслэг $A^d= 30$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 21$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 171,044 тэрбум.тн байна.

15. Хөвсгөл аймаг.

А. Бүрэнтогтох сум. Жилчиг булагийн нүүрсний орд: Жилчиг булагийн нүүрсний уурхай нь Хөвсгөл аймгийн төв Мөрөн хотоос урагш 25 км зайд бүрэн тогтох сумын нутагт оршино. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 4412$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 2,87$ %, үнслэг $A^d= 25,1$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 42,1$ %, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 2,034 тэрбум.тн байна.

Нүүрстэйн амны нүүрсний орд: Нүүрстэйн амны нүүрсний уурхай нь Хөвсгөл аймгийн Бүрэнтогтох сумын нутагт оршдог бөгөөд одоогийн байдлаар нөөц нь бүрэн тодорхойлогдоогүй уурхайнуудын нэг юм. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 4695$ кКал/кг, чийглэг $W^t= 8,8$ %, үнслэг $A^{ad}= 32,52$ %, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 17,42$ % байна.

Б. Цэцэрлэг сум. Могойн голын нүүрсний орд: Могойн голын нүүрсний уурхай нь Хөвсгөл аймгийн Цэцэрлэг сумын нутагт байрладаг. Тус уурхайн нүүрс нь чулуун нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 7500$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}= 0,6$ %, үнслэг

$A^{ad}= 8,6 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 25 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 9.233тэрбум.тн байна.

16. Хэнтий аймаг.

А. Мөрөн сум. Чандган талын нүүрсний орд: Чандган талын нүүрсний уурхай нь Улаанбаатар хотоос зүүн тийш 290 км, Хэнтий аймгийн төвөөс баруун тийш 55 км, Мөрөн сумаас баруун урагш 25 км зайд оршино. Тус уурхайн нүүрс нь Б2, Б3 ангилалын хүрэн нүүрс бөгөөд нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q^{ar}= 3248$ кКал/кг, чийглэг $W^{ad}=38,7\%$, үнслэг $A^d= 11,9 \%$, дэгдэмхий эдийн хэмжээ $V^{daf}= 45,1 \%$, нүүрсний нөөцийн хэмжээ 21,279 тэрбум.тн байна.

3.3. Нүүрсний экологийн үзүүлэлтийн судалгаа

Нүүрсний экологийн үзүүлэлтийн талаар судлаачид янз бүрийн байдлаар авч үзсэн байдаг бөгөөд тэдгээрийг үндсэн 2 хэсэгт хуваан авч үзэж болох юм.

1. Экологийн үзүүлэлтүүд;
2. Техник, технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтүүд;

Дээр дурдсан үзүүлэлтүүд нь авч үзэж буй параметрууд болон үзүүлэлтүүдээрээ ялгарахаас гадна экологийн үзүүлэлтүүдийг дээшлүүлж байгаа аргаараа мөн ялгарна.

Экологийн үзүүлэлтэд шаталтаас ялгарч буй үнс, шааргын зарцуулалт буюу $PM_{2,5}$, PM_{10} , утааны хийн зарцуулалт, түүнд агуулагдах бохирдуулагч элементүүд болох CO , CO_2 , SO_x , NO_x , илүүдэл агаарын коэффициент болон утааны хийн температур зэрэг үзүүлэлтүүд чухал нөлөө үзүүлдэг.

Техник технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтэд дээрх дурдсан экологийн үзүүлэлтүүдийг бууруулах нөлөө үзүүлэхүйц бүхий л төрлийн техникийн болон технологийн үзүүлэлтүүд хамаарагдана.

Техник технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтийн талаар хожим дэлгэрэнгүй авч үзэх тул утааны хийтэй хаягдаж буй бохирдуулагч бодисуудыг хэвийн нөхцөлд шилжүүлэн тооцох арга зүйн талаар доор авч үзэв.

3.3.1. Утааны хийтэй хаягдаж байгаа бохирдуулагч бодисыг хэвийн нөхцөлд шилжүүлэн тооцох арга зүй, аргачлал

Зуухны утааны хийн хэмжсэн үзүүлэлтүүдийн боловсруулалтыг хийж, хэвийн нөхцөл дэх утааны хий дэх бохирдуулах бодисуудын агууламжийг дараах аргачлалар тооцдог. Энд эзлэхүүний агууламж буюу ppm-ээр илэрхийлсэн тохиолдолд:

$$C_v^{xH}=C_v[(V_{xx}^0+(\alpha-1)\cdot V_a^0)/(V_{xx}^0+(1.4-1)\cdot V_a^0)] \quad (3.1)$$

Массын агууламж буюу мг/м³-ээр илэрхийлсэн тохиолдолд:

$$C^{xH}=C\cdot[(273+t)/273]\cdot(B/p)\cdot(V_{xx}^0+(\alpha-1)\cdot V_a^0)/(V_{xx}^0+(1.4-1)\cdot V_a^0) \quad (3.2)$$

энд: C_v - хэмжилтээр тодорхойлсон утааны хий дэх агаар бохируудалгч бодисын эзлэхүүний агууламжийн дундаж утга, ppm; C_i - хэмжилтээр тодорхойлсон утааны найрлага дахь агаар бохирдуулагч бодисын массын агууламжийн дундаж утга, мг/м³; $V_{\text{хх}}^0$ - түлшний шаталтаас үүсэх хуурай хийн онолын эзлэхүүн, нм³/кг; α - илүүдэл агаарын коэффициент; V_a^0 - 1 кг түлшний шаталтанд шаардлагатай агаарын онолын эзлэхүүн, нм³/кг; t - утааны хийн температур, °C; $B=101325$ Па – хэвийн нөхцөл дэх агаарын даралт, Па; p – орчны буюу утааны хийн даралт, Па;

Мөн үүнээс гадна 1кг түлшний шаталтаас үүсэх утааны найрлага дахь агаар бохирдуулах бодисын хэмжээг г/кг.т, г/кг.ж.т гэсэн нэгжээр илэрхийлж тооцдог. Үүнийг дараах томъёогоор шилжүүлж бодно.

$$m_i=C_i \cdot V_y \cdot 10^{-3} \text{ буюу } m_i=C_i \cdot V_y \cdot (Q_{\text{ж.т}}/Q_i^r) \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

энд: m_i – хэмжилтээр тодорхойлсон утааны хийн найрлага дахь агаар бохирдуулагч бодисын массын агууламжийн дундаж утга, мг/м³; $V_y=V_{\text{хх}}^0+(\alpha-1) \cdot V_a^0$ – 1 кг түлшний шаталтаас үүсэх хуурай хийн бодит эзлэхүүн, нм³/кг; $Q_{\text{ж.т}}$ – 1 кг жишмэл түлшний дулаан (илчлэг), МДж/кг; Q_i^r – 1 кг бодит түлшний шаталтаас ялгарах дулаан (илчлэг), МДж/кг;

Түлшний шаталтаас ялгарах 1 МДж дулаанд харгалзах агаар бохирдуулах бодисын хэмжээ, г/МДж:

$$K_i=(C_i \cdot V_y \cdot 10^{-3})/Q_i^r \quad (3.4)$$

Нэгж хугацаанд түлшний шаталтаас үүсэх агаар бохирдуулах бодисын хэмжээ, г/с:

$$M_i=C_i \cdot B_i \cdot V_y \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

энд: B_i – бодит түлшний секундын зарцуулалт, кг/с;

3.4. Шаталтын бүтээгдэхүүний бүтэц ба экологийн үзүүлэлт

Нүүрсний бүтэц, дулаан техник, физик-химийн болон экологийн үзүүлэлт нь дулааны эх үүсгүүрийн ашиглалтын үзүүлэлтүүдэд ихээхэн нөлөөлнө. Иймд нүүрсний бүтэц, чанарын үзүүлэлтүүдэд тохирсон хийцийн үүсгүүр зохион бүтээж ашиглах шаардлагатай юм.

Түлшний шатамхай массын элементийн бүтэц, илчлэг, исэлдэх чадвар, дэгдэмхий бодис агуулалт, үнслэг ба чийглэг зэрэг дулаан техникийн үзүүлэлтүүдийг зуух болон технологийн төхөөрөмжийн ажиллагаанд үзүүлэх нөлөөллийг 3.2 дугаар зурагт харуулав.

Түлшний шаталтаас ялгарах илчлэгийн хэмжээ нь дулааны эрчим хүч боловсруулахад шаардагдах түлшний зарцуулалт, зуухны уурын бүтээмж болон дулааны чадалд ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Түлшний шаталтаас ялгарах дулаан их байхад дулааны

эрчим хүч боловсруулахад шаардагдах түлшний зарцуулалт буурч, нэгж хугацаанд түлшний шаталтаас үүсч утааны хийтэй хаягдах хортой, бохирдуулах бодисуудын хэмжээг бууруулна.



Зураг 3.2. Түлшний дулаан техникийн үзүүлэлтийн нөлөөлөл

Түлшний шаталтаас ялгарах дулаан, шаталтын тогтворжилт, шаталтын явц дахь экологийн үзүүлэлтүүд түүний шатамхай массын элементийн бүтцээс ихээхэн хамаардаг.

Түлшний ноцолт, шаталтаас үүсэх температур түүний дэгдэмхий бодис агуулалт, түүний илчлэг, шаталтанд өгч буй халуун агаарын хэмжээнээс хамаарна.

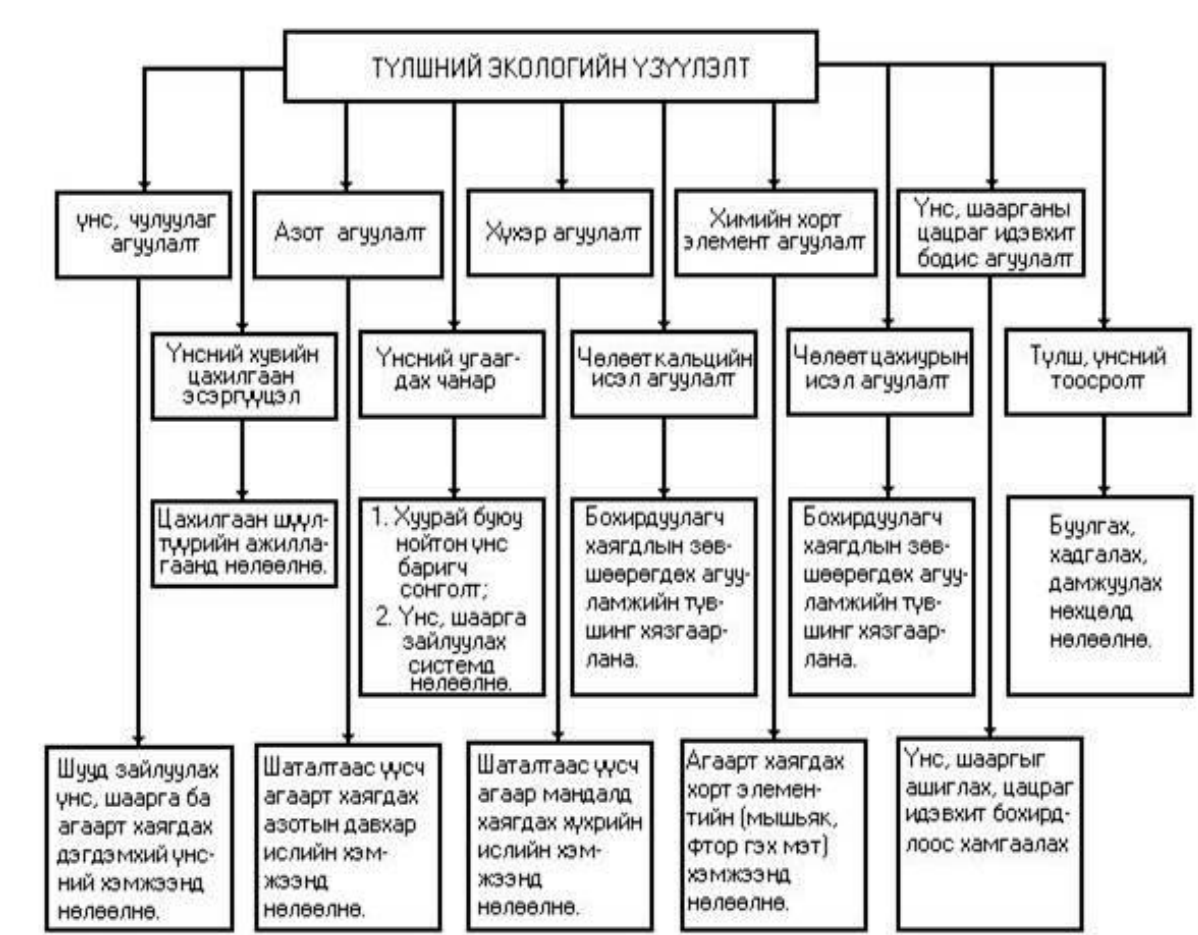
Ашиглагдаж байгаа нүүрсний бүтэц, дулаан техник, физик-химийн үзүүлэлт харилцан адилгүй бөгөөд нүүрсжилтийн байгалийн нөхцлөөс хамаарч бүтэц, шинж чанар нь ихээхэн хэлбэлздэг.

Ашиглагдаж байгаа нүүрсний экологийн үзүүлэлт харилцан адилгүй бөгөөд нүүрсжилтийн байгалийн нөхцлөөс хамаарч бүтэц, шинж чанар нь ихээхэн хэлбэлздэг.

Түлшний шаталтаас ялгарах дулааны хэмжээ шаталтаас үүсч агаар мандалд хаягдах хортой, бохирдуулах бодисуудын хэмжээнд ихээхэн нөлөөлнө. Түлшний шаталтаас ялгарах дулаан их байхад нэгж хугацаанд түлшний шаталтаас үүсч утааны хийтэй хаягдах хортой, бохирдуулах бодисуудын хэмжээг бууруулна.

Түлшний үнслэг, азот ба хүхэр агуулалт, түлш болон үнсний эрдсийн бүтэц дэх цацраг идэвхит бодис агуулалт, үнсний мышьяк, мөнгөн ус, никель, хар тугалга, кобальт

гэх мэтийн хүнд металл агуулалт, үнсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл, чөлөөт кальцийн ба цахиурын исэл агуулалт, тоосролт ба усаар угаагдах чанар зэрэг үзүүлэлтийг түүний экологийн үзүүлэлтэнд хамааруулж болно. Зуухны галын хотолд түлшний шаталтын явцад эдгээр үзүүлэлтүүд ямар нөлөөлөл үзүүлдэг бөгөөд үүнийг манай эрдэмтэдийн судалгаанд тодорхой дурдсан байдаг ба үүнийг 3.3 дугаар зурагт схемчлэн үзүүлэв.



Зураг 3.3. Түлшний экологийн үзүүлэлтийн үзүүлэх нөлөөлөл

Хүрэн нүүрсний хүхэр агуулалт 0,4...1,2 %, азот - 0,3...1,5 %, чулуун нүүрсний хувьд хүхэр агуулалт 0,35...1,7 %, азот - 0,55...1,0 хувийн хооронд хэлбэлздэг байна.

Манай орны ихэнх ордын нүүрсний хүхэр, азот агуулалт бага ($S^r < 1,0$, $N^r < 1,0$), харин Алагтоогоо, Алаг цахиурт, Өвөр чулуут, Түшлэг-Уул, Цагаан-Овоо, Баянцогт, Хамрын хурал, Өвдөг худаг зэрэг ордуудын нүүрсний хүхэр агуулалт, Алагтоогоо, Цахиурт, Могойн гол, Налайхын нүүрсний азот агуулалт харьцангуй их ($S^r = 1,3...2,8$ %), ($N^r = 1,2...2,78$ %) байна.

Нүүрсэнд агуулагдаж байгаа үнслэг, хүхэр, азотын хэмжээ нь шаталтын явцад үүсч байгаа утаатай хамт агаар мандалд хаягдах азотын ба хүхрийн исэл, дэгдэмхий үнс зэрэг байгаль орчныг бохирдуулах бодисуудын гаралтанд шууд нөлөөлнө.

Түлшний шаталтаас үүсэх үнсний цахилгаан эсэргүүцэл, усаар угаагдах чанар нь үнс барих төхөөрөмжийг сонгох үндсэн хүчин зүйл болно. Харин үнсний бүтэц дэх мышьяк, мөнгөн ус, никель, хар тугалга, кобальт гэх мэтийн хүнд металлууд нь хөрс, усыг бохирдуулахаас гадна дэгдэмхий үнстэй хамт агаар мандалд хаягдаж амьтан, ургамалын өсөлтөнд сөрөг нөлөөлөл үзүүлнэ.

Нүүрсний шаталтаас үүсэх үнсний химийн бүтэц нь үнсний хайлах температур, түлшийг шатаах ба үнс, шааргыг зайлуулах аргын сонголт, халах гадаргуугийн шааргадалт, элэгдэл, зэврэлт болон экологийн үзүүлэлтэд нөлөөлнө.

4. ШИВЭЭ-ОВООГИЙН УУРХАЙН НҮҮРСНИЙ ТАЛААР ХИЙГДСЭН СУДАЛГААНЫ АЖЛУУД

Шивээ-Овоогийн нүүрсний талаар цөөнгүй судалгааны ажлууд хийгдсэн байдаг [1-2, 9-10, 13, 15-26].

Ч.Дашпунцаг нарын [13] бүтээлд нүүрсний ашиглалтын хүрээг хамарч авч үзэхдээ технологийн талыг түлхүү баримтлаад түлшний ашиглалтын үеийн эрчим хүч-технологийн асуудлыг өргөн хүрээнд гарган тавьсан байдаг.

Шивээ-Овоогийн нүүрсний бүрэлдэхүүн хэсгийг илүүтэй задлаж үзсэн [15] бүтээлд химийн технологи, материал зүйн асуудлуудыг голлон авч судласан байна.

Эл ордын уурхайн усны асуудал, нүүрсний үе давхаргуудын ашиглалтын түвшинг сайжруулах, олборлолт, ашиглалтын түвшинг дээшлүүлэх, хөрс хуулалт, маркшейдрын ажлын талаар цөөнгүй судалгааны ажлууд хийгдсэн байдаг бөгөөд ашигт малтмалын нөөцийг бүрэн хэмжээгээр нарийн тодорхойлох арга, аргачлал олон байдгийн нэг нь В.Одбаярын судалгааны бүтээлд тусгагджээ.

Өнөөдрийн байдлаар Шивээ-Овоогийн уурхайн хамгийн том хэрэглэгч, худалдан авагч нь ДЦС-4 ТӨХК бөгөөд түүнд суурилагдсан БКЗ-420-140 маягийн уурын генераторуудыг Японы Иточү корпораци, утааны хийн хатаалгатай, булт тээрэмтэй, шууд үлээлгийн тоос бэлтгэлийн системтэй болгон Багануур, Шивээ-овоогийн нүүрс түлэхэд зориулан өөрчлөх шинэчлэлийн ажлыг гүйцэтгэсэн. Уг шинэчлэлийн ажил үр дүнтэй сайн хийгдсэн боловч зуухны агаар-хийн горим, галын хотлын аэродинамик нөхцлүүдийг сайтар тооцоолоогүйн улмаас зуухны галын хотлын халах гадаргуу, ширмийн уур халаагчуудад шаарга тогтох улмаар зуухны ажиллагаанд ихээхэн хүндрэл гарах болсон. Энэ хүндрэлийг арилгах үүднээс хэд хэдэн судалгааны ажлууд хийгдсэн байдаг [18-20, 22]. Эдгээр судалгааны ажлууд [18-20]-ыг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломж хязгаарлагдмал, үр дүнг нарийвчлан авч үзэх шаардлагатай, мөн судалгааны ажил дуусгавар ажил болж чадаагүй байдаг.

2006-2008 онуудад ДЦС-4 ХК-ийн БКЗ-420-140 зуухны халах гадаргуугийн шааргадалтын шалтгааны тодорхойлж дүгнэлт гаргах зорилготой хийгдсэн судалгааны ажилд, монгол улсын хэмжээнд анх удаа зуухны галын хотлын процессийг компьютер симмуляцийн программ ашиглан загварчилсан байдаг [22]. Уг судалгааны ажлын дүнд Багануур, Шивээ-Овоогийн нүүрс түлж буй БКЗ-420-140 маягийн зуухны ажиллагааны үед анхдагч агаарын хурдны зөрүүтэй байдал, утаа сорогчийн бүтээмжийн дутагдалтай байдал нь богино эргэлтийн утаа сорогчийн бүтээмжийн өсөлтөөс үүдсэн болохыг тодорхойлсон, 2 өөр бүтэц, шинж чанартай нүүрс хольж түлж байгаа нь шааргадах

улмаар техник эдийн засгийн үзүүлэлтийг бууруулж байгаа болон Шивээ-Овоогийн нүүрсийг дангаар нь түлэх үед зууханд гарч байгаа хүндрэлүүдийн шалтгаан, Тэдгээрийг арилгах нөхцлүүдийн талаар судлаж, эдгээр хүндрэлтэй талуудыг арилгах, цаашид авч хэрэгжүүлбэл зохих арга хэмжээ, зөвлөмжүүдийг гарган өгсөн байдаг.

Ер нь зуухны шааргадалтын процесс нь түлшний төрөл, түлшийг шатаах арга, шатаагуурын төрөл, галын хотлын илүүдэл агаарын коэффициент, галын хотлын хэмжээ, галын хотол доторх аэродинамик процессийг удирдан явуулах арга, галын хотлын экранжуулалтын зэрэг гэх мэт маш олон хүчин зүйлээс хамаарсан, маш нарийн процесс байдаг учир шааргадалтыг арилгах чиглэлээр хийгдсэн олон олон судалгааны ажлууд шууд үр дүнд хүрч чадаагүй байдаг.

Сүүлийн жилүүдэд Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний талаар хийгдсэн судалгааны ажлууд [1-3, 9-10, 17, 22-26]-аас авч үзэхэд техник технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтүүдийг дээшлүүлэхэд онцгой анхаарч үзсэн бөгөөд эдгээр ажлууд нь уг судалгааны үндсэн материал болохуйц судалгааны ажил болох нь харагдаж байна.

Мөн нөгөөтэйгүүр энэхүү судалгааны ажлын нэг онцлог тал нь экологийн үзүүлэлтүүд болон техник, технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтийг дээшлүүлэхэд чиглэгдэж байгаагаараа урьд өмнө хийгдсэн ажлуудаас онцлогтой болох нь тодорч байна.

5. ШИВЭЭ-ОВООГИЙН УУРХАЙН НҮҮРСНИЙ ФИЗИК, ХИМИЙН СУДАЛГАА

5.1. Шивээ-Овоогийн хүрэн нүүрсний бүтцийн судалгаа

Хүрэн нүүрс:

ОХУ-ын Дулаан Техникийн Хүрээлэн (ВТИ)-ээс гаргасан тодорхойлолтоор нүүрсийг хүрэн, чулуун болон антрацит гэсэн ангилалд хуваан судладаг бөгөөд дэлхийн бусад улсууд (АНУ, Европын Холбооны улсууд, Канад)-д хатуу, зөөлөн ангилалд хувааж авч үзэж байна.

ОХУ-ын ангилалаар, Б ангилалын хүрэн нүүрсэнд дэгдэмхий эдийн хэмжээ нь 40%-аас их, нүүрстөрөгчийн хэмжээ нь 40...60 %, үнсгүй массаар илэрхийлэгдсэн түлшний дулаан гаргах доод чадварын хэмжээ нь:

$$Q_H^p \frac{100}{100-A^p} < 23.88 \frac{\text{МЖ}}{\text{кг}} \text{ буюу } 5700 \text{ кКал/кг} \quad (5.1)$$

байх нүүрсийг оруулжээ.

5.1.1. Нүүрсний минералогийн болоод дулааны физикийн шинж чанарын нарийвчилсан судалгаа

Манай улс нүүрсний дулаан техникийн үзүүлэлтүүд болон элементийн бүтэц, тэсрэлт, элэгдүүлэх шинж чанарын коэффициент, түлшний хатуулаг, петрографийн бүтцийг ОХУ-ын Дулаан Техникийн Хүрээлэнгийн Сибирийн салбар, мөн Барнаулийн Түлшний Химийн Институтэд захиалгаар тодорхойлуулдаг байсан бол сүүлийн жилүүдэд буюу 2000-аад оноос хойшхи хугацаанд БНХАУ-д цөөнгүй дээжүүдийг шинжлүүлсэн ба өнөөдрийн байдлаар Геологийн Төв Лаборатори, МАК ХХК-ийн түлшний лаборатори, МУИС-ийн Цөмийн физикийн лабораториудад тус тус тодорхойлуулж байна. Эдгээр лабораториуд нь бүгд Стандартчилал Хэмжил Зүйн Үндэсний Төвөөр баталгаажсан олон улсын чанарын үнэлгээний сертификат бүхий лабораториуд юм. Нүүрсний шинжилгээний дотоодын болон олон улсын стандартуудыг мөрдөн ажилладаг болсон хэдий ч нэгж болон бусад үзүүлэлтийн хувьд бүрэн олон улсын стандартад шилжиж амжаагүй байна. Өнөөдрийн байдлаар Монгол улсын хэмжээнд нүүрсний шинжилгээнд ашиглаж буй стандартуудын талаар дараах дэд бүлэг (5.2.)-г дурдах болно.

ОХУ-ын аргачлалаар хүрэн нүүрсийг агуулж буй чийгийнх нь хэмжээгээр Б-1, Б-2, Б-3 ангилалд хуваадаг тухай өмнө дурдсан билээ. Энэ ангилалд Б-1 ангиллын хүрэн нүүрсний ажлын массын дөчөөс илүү хувийг чийг ($W^f \geq 40\%$) эзлэх ба Б-2 ангиллын хүрэн нүүрсний чийг агуулалт нь гучаас дөчин хувь ($W^f = 30 \dots 40\%$), Б-3 ангиллын хүрэн нүүрсний чийг агуулалт нь 30 хүртэл хувь ($W^f < 30\%$) байна.

Хүрэн нүүрс нь атмосферт амархан чийгээ алдан механик бат бэх чанараа алдан, бутрамхай болохоос гадна дэгдэмхий эд ялгаран гарсны улмаас түүний өөрөө ноцох боломж бүрэлдэх ба энэ үед ноцоход шаардагдах энергийн хэмжээ буурснаар шаталт амархан явагдах нөхцөл бүрдэнэ. Хүрэн нүүрс нь чулуун нүүрстэй харьцуулахад гигроскоп (нүүрсний бүтэцэд гидрат болон кристалл хэлбэрээр орж суусан) чийгтэй, хүчилтөрөгчийн агууламж өндөртэй байдаг тул ажлын масст агуулагдах нүүрстөрөгч, устөрөгчийн эзлэх хувь бага болхоос гадна дулаан гаргах доод чадвар $Q_{н^p}=10,5...15,9\text{МЖ/кг}$ ($2500...3800\text{ кКал/кг}$), чийглэг $W^r=20...45\%$, үнслэг $A^p=15...25\%$ хязгаарт байдаг.

Ер нь нүүрсний ангиллыг тогтоохдоо түүний дулаан техникийн үзүүлэлтийг үндэслэн тогтоодог бөгөөд эдгээр үзүүлэлт нь тухайн орд газрын геологийн насжилт, хөрсний бүтэц, ашиглалтын үеийн уул техникийн нөхцлөөс хамааран өөрчлөгдөж байдаг. Нүүрсний ангилалд нөлөөлөх хамгийн чухал үзүүлэлтүүд нь ажлын масст агуулагдах нүүрстөрөгчийн хэмжээ ($C^r, \%$), чийглэг ($W^r, \%$), чийггүй, үнсгүй (шатамхай) массаар тодорхойлогдсон дулаанд тогтворгүй дэгдэмхий бодисын хэмжээ ($V_{л}^{daf}, \%$), хүчилтөрөгчийн агууламж ($O^r, \%$) зэрэг юм. Үүнээс гадна нүүрсэнд устөрөгч ($H^r, \%$), хүхэр ($S_{к+ор}^r, \%$), үнслэгийг ($A^r, \%$) бүрдүүлэгч кварц ($SiO_2, \%$), шохойн чулуу ($CaCO_3, \%$), пирит ($Fe_2O_3, \%$), төрөл бүрийн шавар, каолин (CaO, K_2O, MgO г.м), титан ба хөнгөн цагааны исэл (TiO_2, Al_2O_3) зэрэг 40 гаруй төрлийн элемент, тэдгээрийн нэгдлүүд агуулагдсан байдаг. Хүхэр нь нүүрсэнд төмөрт нэгдэл буюу колчедан ($FeS_2, \%$), органик хүхэр ($S_{ор}, \%$) хэлбэрээр оршдог.

5.1.2. Шивээ-Овоогийн нүүрс

Шивээ-Овоогийн нүүрсний орд нь Хэвтээ уналттай, ашиглалтын тогтвортой нөхцөлтэй, $24,4\text{ км}^2$ эдэлбэрийн талбай бүхий Б-2, Б-3 ангиллын хүрэн нүүрсний томоохон орд бөгөөд доод цэрдийн насжилттай, хүрэн нүүрсний залуу орд юм. Нүүрсний давхаргын дундаж зузаан $50,4\text{ м}$, геологийн нөөц $2,7$ бэрбум тн гэж тогтоогдсоноос үйлдвэрлэлийн нөөц нь $593,8$ сая тонноор батлагдсан бөгөөд 1992 оноос 500 мян.тн, 1998 оноос 2 сая тн хүчин чадалтайгаар $10...30\text{ м}$ зузаантай 2 давхаргыг ашиглаж байна. Хөрс хуулалтын итгэлцүүр $2...3\text{ м}^3/\text{тн}$, ашиглалтанд орсноос хойш 30 гаруй сая тн нүүрс олборлоод байна.

Шивээ-Овоогийн нүүрсний уурхайн гол хэрэглэгч буюу худалдан авагч нь манай улсын хамгийн том эрчим хүчний үйлдвэр болох ДЦС-4 ТӨХК юм.

Олон улсын итгэмжлэгдсэн “Геологийн төв лаборатори”-д шинжлэгдсэн Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний үнс, шааргын шинжилгээний дүнг 5.1-5.2-р хүснэгтүүдэд үзүүлэв.

Хүснэгт 5.1

Олон улсын хэмжээнд итгэмжлэгдсэн

№	Лаб №	Дээж №	Чулуулгийн тодорхойлолт	Агуулагдах элемент, %								
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
1	4496	1	-	40.31	0.44	9.25	7.35	0.87	19.74	4.34	0.61	0.59
2	4497	05	-	35.17	0.46	7.14	10.01	1.01	19.74	5.1	0.59	0.64
3	4498	07	-	39.21	0.43	9.85	6.19	0.72	18.64	3.93	0.68	0.64
4	4499	09	-	39.43	0.45	7.81	5.36	0.65	20.47	5.51	0.72	0.92
5	4500	10	-	29.74	0.67	7.0	5.18	0.65	24.85	6.48	0.67	0.38
6	4501	11	-	39.21	0.43	8.44	13.7	0.76	13.89	3.19	0.86	1.08
ХЯНАЛТ												
1	Шифр-880	Лаб № 4498		39.28	0.43	9.92	6.33	0.72	18.27	4.14	0.64	0.62
Шинжилгээний аргын код				*СФ М-0,3	*СФ М-0,4	*СФ М-0,5	*СФМ-0,6	*Титр -0,8	*Титр -0,9	*ААС-10	*ЭФМ-11	

Хүснэгт 5.2

Үнсний эрдсийн шинжилгээ

№	Эрдэс	Уурхайн төслийн өгөгдөл		Геологийн төв лабораторийн шинжилгээний дүн		
		1-р давхарга	2-р давхарга	1-р давхарга	2-р давхаргын завсрын хөрсний дээд тал	2-р давхарга
1	SiO ₂ , %	36,56	25,76	47,54	25,18	41,68
2	Al ₂ O ₃ , %	10,93	9,25	10,8	9,56	10,96
3	Fe ₂ O ₃ , %	11,03	5,46	5,49	7,5	6,45
4	CaO, %	17,63	31,85	14,0	24,41	17,59
5	MgO, %	4,64	6,98	3,38	4,73	3,51
6	Na ₂ O, %	1,1	1,54	0,53	0,83	0,64
7	K ₂ O, %	0,67	0,41	0,73	0,91	0,92
8	TiO ₂ , %	0,44	0,45	0,91	0,53	0,69
9	Mn ₃ O ₄ , %	0,57	0,98	0,53	0,72	0,52
10	SO ₃ , %	15,64	13,86	6,6	11,76	9,48
11	P ₂ O ₅ , %	0,02	0,04	-	-	-
12	Бусад, %	0,77	3,42	-	-	-

Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний петрографийн шинжилгээг Геологийн төв лабораторид шижлүүлсэн бөгөөд энэхүү шинжилгээний дүнгээс харахад цахиурын исэл SiO₂ – 37.18 %, Al₂O₃ – 8.253 %, Fe₂O₃ – 7.965 %, FeO – 0.777 %, CaO – 19.555 %, MgO – 19.555%, Na₂O – 0.688%, K₂O – 0.708 % байна.

Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний элементийн бүтцийн талаар өгөгдлийг 5.3-5.4-р хүснэгтүүдэд үзүүлэв.

Хүснэгт 5.3

Дээж №	Үндсэн үзүүлэлтүүд								
	Ажлын массаар, %								
Тэмдэглэл	O ^p	W ^p	A ^p	V _л ^г	C ^p	H ^p	S ^p	N ^p	Q _н ^p , кКал/кг МДж/кг
Дундаж	25,53	43,6	4,28	26,11	22,4	3,77	0,2	0,22	3526 14,77
Исэлдсэн дээж	23,66	44	7,7	22,9	20,7	3,5	0,24	0,2	2750 11,6

Хүснэгт 5.4

Дээж №	Тэмдэглэл	Хуурай, үнсгүй массаар, %					Q _н ^{daf} , кКал/кг, МДж/кг
		V _л ^{daf}	C ^{daf}	H ^{daf}	S ^{daf}	N ^{daf}	
Дундаж		43,6	43	7,24	0,35	0,42	6349 26,6
Исэлдсэн дээж №58		44	46,79	7,25	0,35	0,41	5693 23,8

Петрографийн хураангуй бичиглэл: Шивээ-Овоогийн нүүрсний үнс, шлак нь микроскопийн тодорхойлолтоор сульфидийн хүдэр агуулсан, структурын хувьд хайрслал, пелитоморфологи шинж чанартай, гадаад бүтцийн хувьд бяцармал гадаад цогцлолтой нүүрс гэж тодорхойлогджээ. Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулгыг 5.5...5.10-р хүснэгтүүдэд харууллаа.

Хүснэгт 5.5

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №1)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,002-0,028-0,375-8.11-6)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Хоёрдогч	%	Дайвар	%
Нүүрсний эрдэс	77	Кварц SiO ₂	10мөх			Пирит FeS ₂	3
Торф	20					Маркозит FeS ₂	30 мөх
						Гидрогетит FeO(OH)nH ₂ O	3 мөх

Ажиглалт хийж буй өнгөлсөн, тунгалаг брикетийн найрлагад нүүрсний эрдсүүд, нүүрсний чулуу, пирит, маркозит, гидрогетит зэрэг эрдсүүд тодорхойлогдож байна.

Торф нь нүүрсний хайрсуудыг бодвол хатуулаг ба нягт ихтэй, голдуу мөлгөр ирмэгтэй, мохоо өнцөгтэй юм. Энэ нь хар өнгийн нүүрсний бодисоос тогтсон нүүрсний чулуу юм. Нүүрсний чулуу нь изометрлэг хэлбэртэй, хэмжээгээр жижиг байхаас гадна тоосонцор мөхлөг хэлбэрээр илэрч байна.

Кварцын мөхлөгүүд нь изометрлэг хурц өнцөгтэй, янз бүрийн хэлбэрээр 0,008...0,375 мм-ийн хэмжээтэй мөхлөгүүдээр ажиглагдаж байна. Брикетийн талбайд пирит, маркозит, гидрогетитүүдийн ширхэгүүд маш сийрэг хуваарилалт үүсгэсэн байна.

Ховорхон брикетийн хоёр гурван цэгт 1,75...4,75 мм-ийн хэмжээтэй таблитчатлаг, хурц өнцөгт гурвалжин хэлбэрийн сариналын контур хадгалсан пиритийн 0,004...0,036 мм-ийн хэмжээтэй мөхлөгүүдийн саринал буюу буцрал тэмдэглэгдлээ. Ийм бөөгнөрлүүд нь изотроп, оптик шинж чанартай шаварлаг эрдсүүдээр барьцалдаж тогтсон байдаг.

Хүснэгт 5.6

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №5)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,004-0,008-0,06-1,5-2)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Дайвар	%
Нүүрсний хайрсууд	98	Кварц ба альбит	2	Пирит	10 мөх
		Серицит	Ховор	Гидрогетит	3 мөх

Дэгдэмхий эдийн хэмжээ, эдгээр нүүрснүүдэд ойролцоо буюу $\Delta V^r=0,65\%$ боловч хүхрийн агууламж $S^{daf}=0.35\%$ байна.

Мөхлөгүүд нь изотроп оптик шинж чанартай, колломорфлог дотоод бүтэцтэй, нүүрслэг буюу шаварлаг мөхлөгүүдийн бөөгнөрөл дотор коллоидно-колломорфлоги бүтэц үүсгэн агуулагдсан байна. Ийм бөөгнөрүүд чулуунд хэд хэдэн цэгт ажиглагдсаныг тэмдэглэсэн байдаг.

Брикетийн талбайн ихэнх хувийг нүүрсний эрдсүүд эзлэсэн байх ба дээр тодорхойлсон хүдрийн эрдсүүд туслах агуулгатай оролцсон байх юм.

Хүснэгт 5.7

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №7)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,008-0,02-0,24-2,5)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Дайвар	%
Нүүрсний эрдсүүд	95	Кварц	5	Пирит Маркозит	28
		Альбит	4 мөх		мөх
		Серицит	3 мөх		30 мөх

Кварц, альбитийн 0,016...0,06 мм-ийн хэмжээтэй хэсэг ховорхон, 0,24 мм-ийн хэмжээтэй бяцарсан призмлэг мөхлөгүүд нүүрсний эрдсүүдээс суллагдаж, сарнин тархсан байдалтай байна. Эдгээр чулуу бүрдүүлэгч эрдсүүдийн бичил мөхлөгүүд дунд кварцын мөхлөгүүд оршиж байна.

Хүснэгт 5.8

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №09)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,004-0,012-0,020-0,06-1,8)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Дайвар	%
Нүүрсний эрдсүүд	99	Кварц	1	Гетит	3 мөх
		Альбит	10 мөх	Пирит	6 мөх
		Серицит		Маркозит	5 мөх

Ажиглалт явуулж байгаа аншлифийн талбайн 99 орчим хувийг нүүрсний эрдсүүд эзлэж, 1 орчим хувийг чулуу бүрдүүлэгч эрдсүүдийн мөхлөгүүд эзлэсэн байна. Нүүрсний эрдсүүдтэй ассоциаци үүсгэх замаар дээрх хүдрийн эрдсүүд үүссэн байна.

Альбитийн ширхэгүүд нь шаварлаг эрдсүүдийн тоосонцороор илүү бохирдсон байх юм.

Серицитийн бичил хайрслал, богино үсний ширхэг шиг мөхлөгүүдийн багц бөөгнөрлүүд тэмдэглэгдсэн байна.

Маркозит болон пиритийн талжилт, идиоморфизмоор муу 0,004...0,012 мм-ийн тоосонцор мөхлөгүүд нь ихэнх тохиолдолд суллагаж ганц нэгээрээ сарнисан байдалтай ажиглагдсан бөгөөд эдний дотор пиритийн мөхлөгүүд нь агуулгаар арай илүү байна.

Хүснэгт 5.9

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №10)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,002-0,004-0,012-0,02-0,28-3)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Дайвар	%
Нүүрсний эрдсүүд	99	Кварц Альбит	1	Гетит	3 мөх
				Пирит	25 мөх
				Маркозит	10 мөх

Дээрх шинжилгээгээр энэ нүүрсэнд сульфидийн хүдрийн эрдсүүд маш бага оролцсон байна.

Нүүрсний зарим ширхэгүүдийн хуваагдал, торны нүднүүдээр гидрогетиттэй андуурхаар бор саарал нүүрсний эрдсүүд нэлээд түгээмэл шинжтэй үүссэн байна.

Маркозитийн мөхлөгүүдийн ихэнх нь хайрсуудын доторх ан цав, бичил орон зайд үүр маягийн бөөгнөрөл үүсгэсэн байна.

Хүснэгт 5.10

Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсийн агуулга (Зах ПГ 06/43, Шлиф №11)
(Эрдсийн мөхлөгийн хэмжээ 0,025-0,024-3-0,004-0,024-0,32)

Гол эрдэс	%	Хоёрдугаар зэргийн эрдэс	%	Дайвар	%
Нүүрсний эрдсүүд	99	Серицит	Ховор	Гетит	2 мөх
Кварц	2	Алевролит	1	Пирит	12 мөх
Плагиоклаз	3			Маркозит	

Ажиглалт хийж байгаа брикетийн талбайн 93 орчим хувийг нүүрсний эрдсүүд, 7 орчим хувийг эрдсүүдийн болон нүүрс агуулагч чулууны мөхлөгүүд эзлэсэн байна.

Альбитийн ширхэгүүд нь пелит бага агуулсан кварцтай төсөөтэй гадаргуутай юм. Харин олигоклазын ширхэгүүд нь шаварлаг эрдэс-серицитийн мөхлөгүүдээр маш хүчтэй хувирч бохирдсон гадаргуутай болсон байлаа.

Плагиоклазын зарим ширхэгүүд нь хэлбэр хэмжээний контураа хадгалж, шаварлаг эрдсүүдийн бөөгнөрөлд бүр мөсөн хувирсан байлаа.

Пиритийн 1,26...1,75 мм-ийн хэмжээтэй призмлэг хэлбэр дүрсийн контур муухан агуулсан ширхэгүүд нь байрандаа бяцрахад түүний жижиг мөхлөгүүдийн шаварлаг ба нүүрсний тоосонцор мөхлөгүүдийн бөөгнөрөл барьцалдсан байх юм.

Хүснэгт 5.11

Шивээ-Овоогийн нүүрсний үнсэнд агуулагдах элементүүдийн дундаж үзүүлэлт

№	Үзүүлэлт	Тэмдэглэл	Нэгж	Шивээ-Овоо
1	Цахиурын исэл	SiO ₂	%	37,18
2	Хөнгөн цагааны исэл	Al ₂ O ₃	%	8,25
3	Төмрийн исэл	Fe ₂ O ₃	%	7,97
4	Кальцийн исэл	CaO	%	19,56
5	Магнийн исэл	MgO	%	4,76
6	Калийн исэл	K ₂ O	%	0,71
7	Натрийн исэл	Na ₂ O	%	0,69
8	Үнсний деформацид орох температур	t ₁	°C	1338
9	Үнсний хайлах температур	t ₂	°C	1366
10	Үнсний шингэрэх температур	t ₃	°C	1377

Дээрх хүснэгтээс харахад эрчим хүчний зуухны галын хотолд Шивээ-Овоогийн нүүрсийг шатаах үед Шааргадалт үүсэхгүй байх магадлал өндөр боловч шааргадалтын процесс нь дан ганц дээрх гурван температураас хамаарахгүй бөгөөд шааргадалтын процесст агаар түлшний харьцаа чухал нөлөөтэй болохыг харуулж байна.

Хүснэгт 5.12-т “ДЦС-4” ТӨХК-ийн зуухыг шинэчлэх хоёрдугаар шатны төслийн сонгон шалгаруулалтад ашигласан Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний шинж чанарын үзүүлэлтийг бодит нүүрсний шинж чанарын үзүүлэлттэй харьцуулан харууллаа.

Хүснэгт 5.12

“IV цахилгаан станцын шинэчлэл” төслийн II шатны сонгон шалгаруулалтад оруулсан Шивээ-Овоогийн нүүрсний шинж чанарыг бодит нүүрстэй харьцуулсан өгөгдлүүд

Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Шивээ-Овоо		
		Төслийн захиалгат	Канадын Norwest компанийн шинжилгээний дүн	
			II үе	I үе
Дэгдэмхий бодис	%	45,0	21,1	22,9
Нүүрстөрөгч	%	31,0	26,6	28,6

Үнслэг	%	16,0	7,7	5,0
Чийглэг (нийт)	%	39,0	44,7	43,7
Илчлэг	кКал/кг	2900,0	3185,0	3374,0
Бутлагдах чадвар, хатуугийн зэрэг	-	66,0	84,0	82,0
Хүхэр	%	0,6	0,58	0,30
Нүүрстөрөгч	%	73,2	-	-
Устөрөгч	%	4,7	-	-
Хүчилтөрөгч	%	20,6	-	-
Азот	%	0,9	-	-
Б. Үнсний агууламж				
SiO ₂	%	44,44	36,56	25,76
Al ₂ O ₃	%	14,51	10,93	9,25
Fe ₂ O ₃	%	8,03	11,03	5,46
CaO	%	15,24	17,63	31,85
TiO ₂	%	0,64	0,44	0,45
MgO	%	3,96	4,64	6,98
Mn ₃ O ₄	%	-	0,57	0,98
SO ₃	%	10,87	15,64	13,86
P ₂ O ₅	%	-	0,02	0,04
Na ₂ O	%	0,81	1,10	1,54
K ₂ O	%	1,5	0,67	0,41

5.12 дугаар хүснэгтээс харахад шинэчлэлийн төслийг гүйцэтгэхдээ нүүрсний үзүүлэлт ба үнсний хайлах температурыг бууруулж байдаг кали, кальци, натри зэрэг элементүүдийг бодит үзүүлэлтээс нилээд зөрүүтэй тооцсон нь харагдаж байгаа бөгөөд дээрх алдаа нь зуухны ашиглалтын ажиллагааг хүндрүүлэх нөхцөл болж байдаг байна.

5.13 дугаар хүснэгтэд үнсэнд агуулагдах зарим элементүүдийн хайлах температур болон нягтыг харуулав.

Хүснэгт 5.13

Нүүрсний үнсэнд агуулагдах зарим элементүүдийн
хайлах температур болон нягт

Элементийн нэр	Тэмдэглэл	Хайлах температур, °C	Нягт, г/см ³
Төмрийн давхар исэл	Fe ₂ O ₃	1566	5.24
Төмрийн исэл	FeO	1370	5.7
Цахиурын исэл	SiO ₂	1650	2.2
Хөнгөн цагааны давхар исэл	Al ₂ O ₃	2054	3.97
Кальцийн исэл	CaO	2572	3.35
Магнийн исэл	MgO	2800	3.58
Натрийн исэл	NaO	1132	2.27
Калийн исэл	K ₂ O	495	2.35

Дээрх хүснэгтээс харахад дан элементүүдийн хувьд хайлах температур нь өндөр байгаа учраас шлакталтад бага өртөнө, гэсэн дүгнэлтийг хийж болох боловч эдгээр элементүүд нь нүүрсний бүтцэд дангаараа болон нэгдэн байдлаар нүүрсний талст бүтцэд орж байрласан байдгаас шалтгаалан химийн өөр өөр нэгдлүүд (кварц, гялтгануур, цахиурлаг жонш, карбонат, төмрийн нэгдлүүд гэх мэт) болох бөгөөд эдгээр нь зуухны галын хотол дахь шаталтын процессийн үед рециркуляци хийж буй утааны хийтэй хамт буцаж галын хотолд орж дулааны үйлчлэлд орсноор анхны үнснээс хатуу шинж чанартай элементүүдийг үүсгэнэ. Ингэснээр үнснээс шинээр үүсч буй хатуу элементүүд нь утааны хийгээр тээвэрлэгдэн дахин рециркуляци хийгдсэнээр тээрмийн салхилуурын ажлын дугуйн элэгдлийг хурдасгаж байна. Энэхүү элэгдлээс сэргийлэхийн тулд галын хотлоос авч байгаа рециркуляцийн утааны хийн шугамд үнсний циклон суурилуулж сэргийлж болно.

5.2. Шивээ-Овоогийн нүүрсний үзүүлэлтийн судалгаа

2019 оны байдлаар Монгол улсын хэмжээнд олон төрлийн түлшний шинжилгээний стандартууд хэрэгжиж байгаа бөгөөд тэдгээрээс эрдсийн түүхий эдийн шинжилгээг бүх төрлийн хатуу түлшинд хийж гүйцэтгэж байгаа ба хүрэн, чулуун нүүрс, антрацит ба шатдаг занараас дээж авахад MNS ISO 14180:2001, дээж бэлтгэхэд MNS ISO 5069-2:2015, ISO 13909-7-2001, ASTM D2013-2009 стандартуудыг мөрдлөг болгон ажиллаж байна. Физик-химийн сорилын шинжилгээг хүрэн ба чулуун нүүрс, антрацит, шатдаг занар, хагас кокс, кокс, шахмал түлшний чийгийн агууламжийг тодорхойлоход MNS 655:79, MNS ISO 589:2003, MNS GB/T 212-2015, үнслэгийг тодорхойлоход MNS 652-1979, MNS GB/T 212-2015, MNS ISO 1171:2010, дэгдэмхий бодисын гарцыг тодорхойлоход MNS 654-1979, MNS ISO 562-2001, MNS GB/T 212-2015, хүхрийн хэмжээг тодорхойлоход GB/T 214-2009, нүүрстөрөгч, азот, хүчилтөрөгч, устөрөгчийн агууламж тодорхойлох элементийн шинжилгээнд MNS ASTM D 5373-2009, ISO 29541, илчлэг тодорхойлоход MNS ISO 1928-2009, ASTM D 5865-13, GB/T 213-2008, харьцангуй нягтыг тодорхойлоход MNS 3217-82, MNS ISO 5072-2003, GB/T 217-2008, үнсний хайлах температур тодорхойлоход MNS 3902:1986, ASTM D1857-2003, ISO 540-2008, гадаргуугийг талбай-нүхэрхэг, сүвэрхэг байдлыг тодорхойлоход ISO 9277-2010, ASTM D 6556-2010, хагас коксжуулалтын бүтээгдэхүүний гарцыг тодорхойлоход MNS 4046-1988 зэрэг стандартуудыг мөрдөн ажиллаж байна.

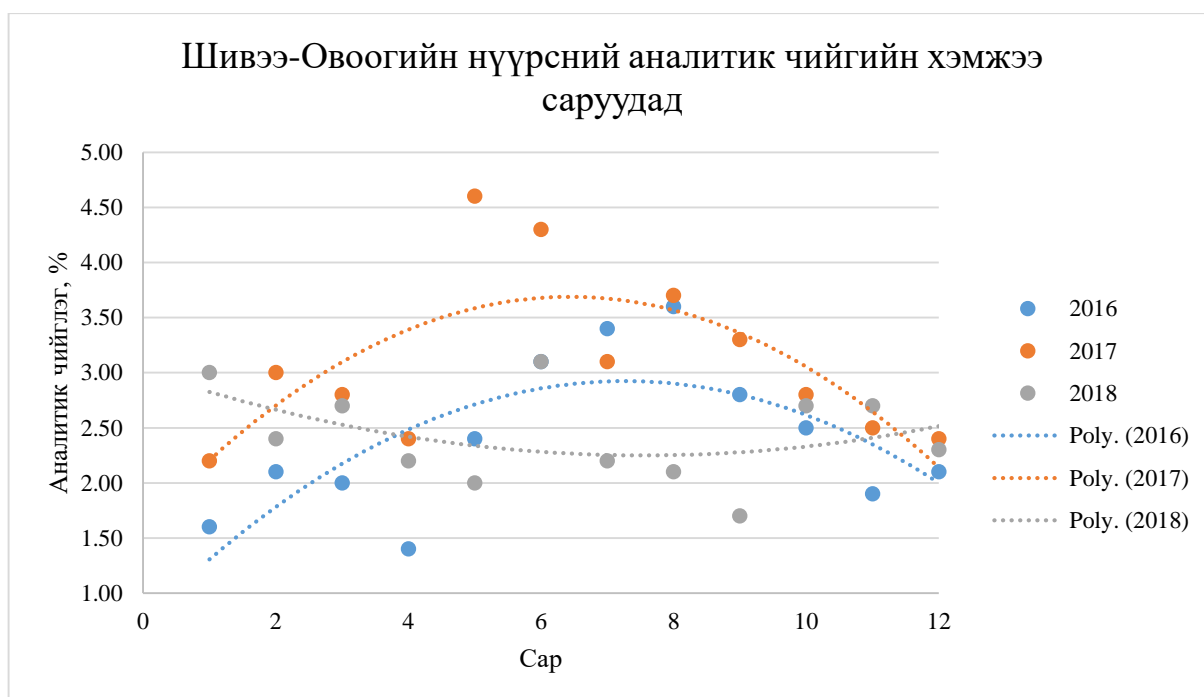
Чулуун нүүрсний барьцалдах чанарыг тодорхойлоход MNS ISO 15585:2014, GBT 5447-2000, хөөлтийн зэргийг тодорхойлоход MNS ISO 501:2003, ASTM D 720-15, Грей

Кингийн аргаар коксжилтын төрлийг сонгоход ISO 502:1982, Дилатометрийн үзүүлэлтийн аргаар тэлэлт-а, агшилт-б тодорхойлоход ISO 23873:2010, ISO 349-1975, GBT 5450-1994 зэрэг стандартуудыг мөрдлөг болгон ажиллаж байна.

Манай улсын эрчим хүчний системд ажиллаж буй станцуудын химийн лабораториудад түүхий нүүрсэнд хийгдэж буй үндсэн шинжилгээ нь түлшний чийглэг, үнслэг, дэгдэмхий бодисын хэмжээ, илчлэгийг тодорхойлоход дээр дурдагдсан стандартуудын дагуу шинжилгээ хийж байна.

Эрчим хүчний томоохон үйлдвэр болох ДЦС-4 ТӨХК нь Шивээ-Овоогийн уурхайн гол хэрэглэгчдийн нэг бөгөөд дээр дурдагдсан стандартуудаас MNS 655-79 стандартыг ашиглан түлшний чиаглэг (W^{ar} , W^{ad})-ийг, MNS 652-1979 стандартаар үнслэг (A^f , A^{ad})-ийг, MNS 654-1979 стандартаар дэгдэмхий бодисын гаралт (V^{ad} , V^{daf})-ыг, MNS ISO 1928:2009 стандартаар түлшний илчлэг (Q_b^{ad} , Q^{ar}_{net})-ийг тус тус тодорхойлж байна.

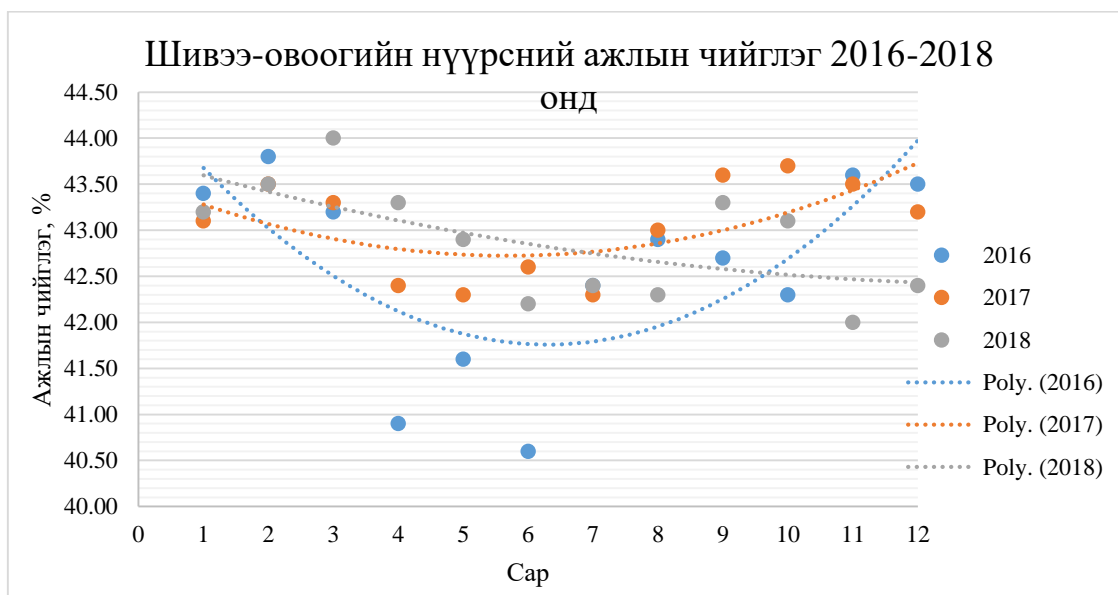
Дээрх аргачлалын дагуу гарган авсан Шивээ-Овоогийн нүүрсний чийглэгийн хэмжээг зураг 5.1-5.2-т үзүүлэв.



Зураг 5.1. Шивээ-Овоогийн нүүрсний аналитик чийгийн хэмжээ 2016-2018 онд

Нүүрсний аналитик чийгийн хэмжээ нь нүүрсний дотоод бүтцэд агуулагдах чийгийг харуулдаг бөгөөд 2016-2017 онуудад станцад нийлүүлж буй нүүрс нь ойролцоо пластын, аналитик чийг агууламж нь ойролцоо байсан бол 2018 онд пласт солигдсон байж болох юм. Мөн нөгөөтэйгүүр 2018 оны аналитик чийгийн үзүүлэлтээс харахад регрессийн коэффициент маш бага (2018 онд $R^2=0.183$) байгаа нь хэт эсрэг шинж чанар бүхий,

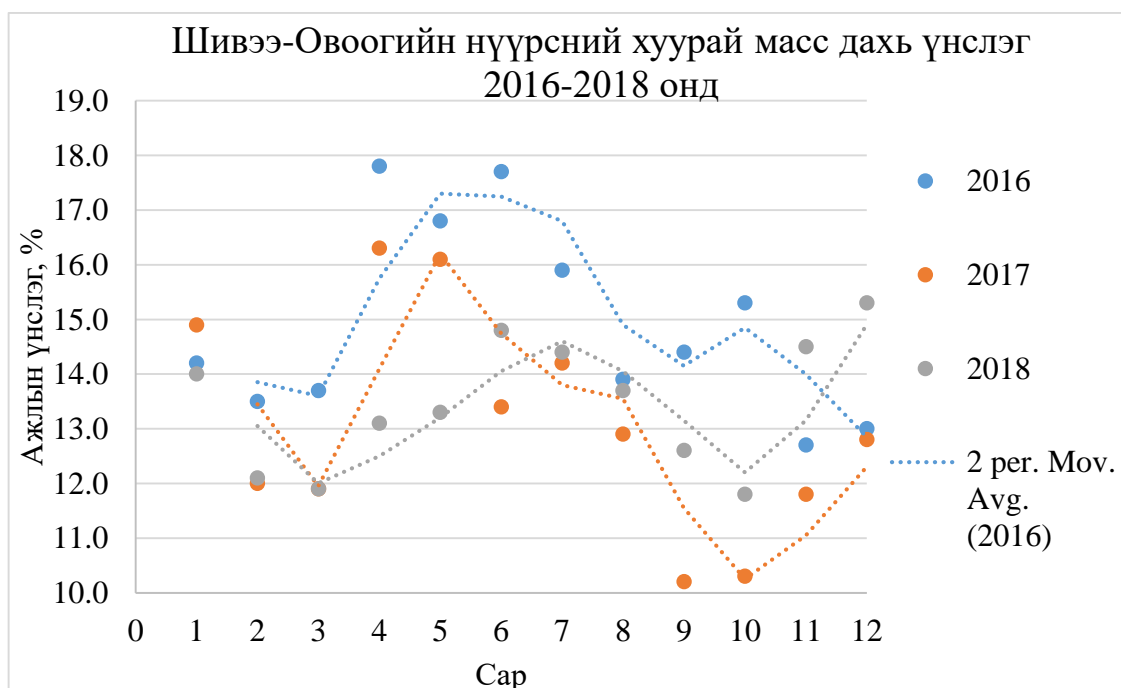
өөрөөр хэлбэл аналитик чийгийн агууламжийг өмнөх онуудтай харьцуулан дүгнэлт хийх боломжгүй нүүрс ирсэн гэж үнэлж болохоор байна.



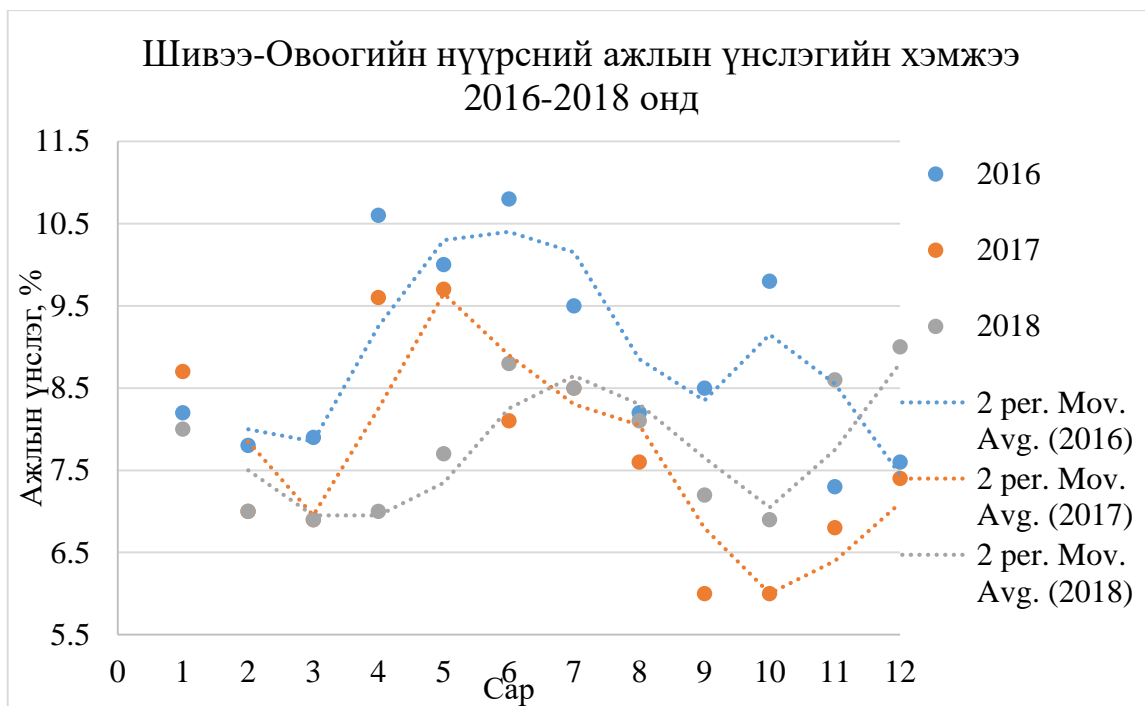
Зураг 5.2. Шивээ-Овоогийн нүүрсний ажлын чийгийн хэмжээ 2016-2018 онд

Шивээ-Овоогийн нүүрсний ажлын чийглэгийн үзүүлэлт 2018 онд өмнөх онуудаас буурах хандлагатай болж байгаа нь нүүрсний дулаан гаргах чадварыг өсгөх нөлөөлөл үзүүлсэн байх ёстой.

Нүүрсний хуурай масс дахь үнсний өөрчлөлтийн үзүүлэлтийг зураг 5.3-т, ажлын үнслэгийн өөрчлөлтийг 5.4-р зурагт тус тус үзүүлэв.

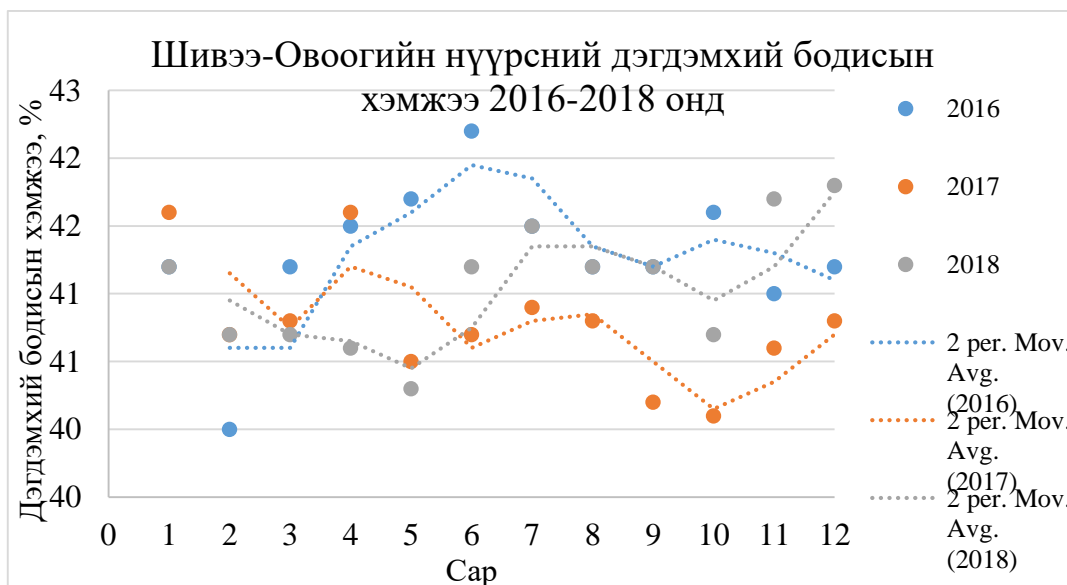


Зураг 5.3. Шивээ-Овоогийн нүүрсний хуурай масс дахь үнслэг 2016-2018 онд



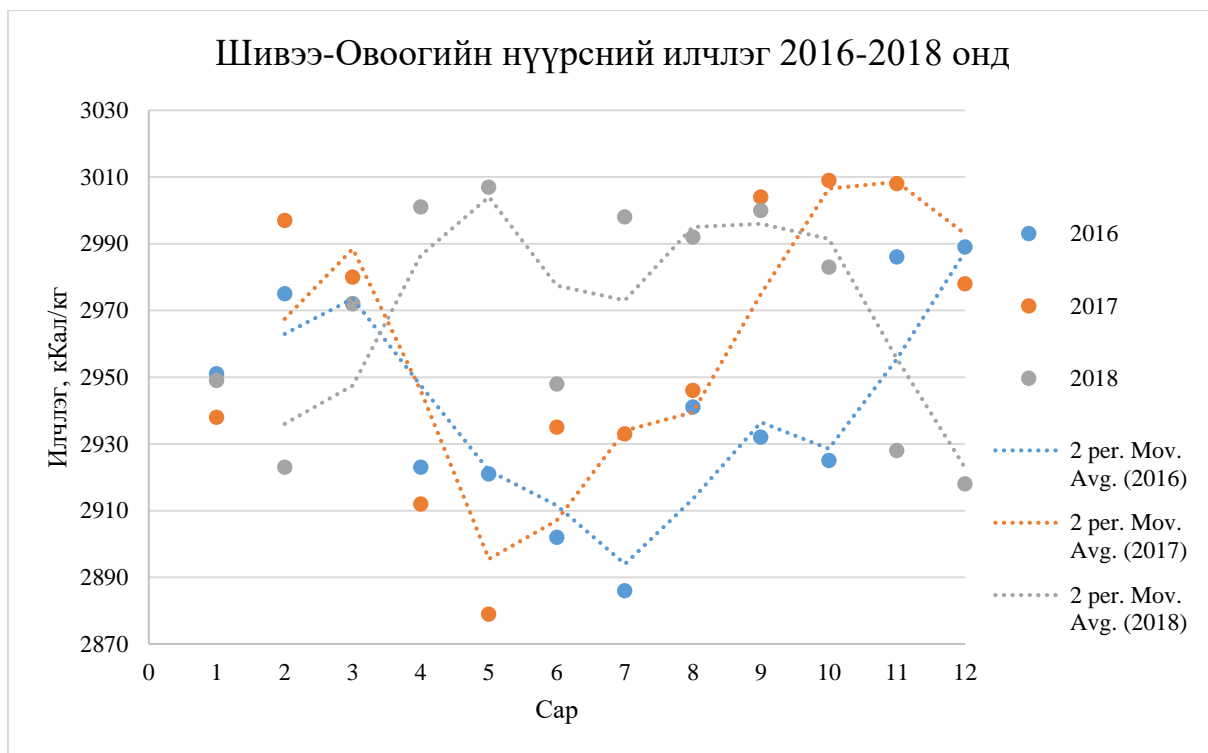
Зураг 5.4. Шивээ-Овоогийн нүүрсний ажлын үнслэгийн өөрчлөлт 2016-2018 онд

Шивээ-овоогийн нүүрсний дэгдэмхий бодисын өөрчлөлтийн хэмжээ 2016-2018 онуудад хэрхэн өөрчлөгдөж байсныг доор зураг 5.5-д үзүүлэв.



Зураг 5.5. Шивээ-Овоогийн нүүрсний дэгдэмхий бодисын өөрчлөлт 2016-2018 онд

Эрчим хүчний зуухны дулааны тооцоо болон эрчим хүчний үзүүлэлтийг тооцоходоо түлшний дулаан гаргах доод чадварыг ашигладаг бөгөөд 2016-2018 онуудад Шивээ-Овоогийн нүүрсний илчлэг хэрхэн өөрчлөгдөж байсныг зураг 5.6-д үзүүлэв.



Зураг 5.6. Шивээ-Овоогийн нүүрсний илчлэг 2016-2018 онд

Дээрх илчлэгийн өөрчлөлтөөс харахад 2018 оноос эхлэн түлшний илчлэгийн хэлбэлзэл хэт өөрчлөгдөж байгаа нь харагдаж байна.

Дээрх 5.1-5.6-р графикуудад орсон үзүүлэлтүүдийн дундаж утгыг дараах 5.14-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 5.14

Шивээ-Овоогийн нүүрсний дундаж үзүүлэлтүүд 2016-2018 онд

№	Үзүүлэлт	Он		
		2016	2017	2018
1	Түлшний дундаж аналитик чийглэг, W^{ar} , %	2,4	3,0	2,4
2	Түлшний ажлын чийглэг, W^{ad} , %	42,6	43,04	42,88
3	Түлшний үнслэг, A^{ad} , %	14,91	13,07	13,46
4	Түлшний ажлын үнслэг, A^r , %	8,85	7,69	7,81
5	Түлшний дэгдэмхий бодисын хэмжээ, V^{daf} , %	41,29	40,78	41,07
6	Түлшний илчлэг, Q^{ar} , кКал/кг	2941.92	2959.92	2968.25

Шивээ-Овоогийн нүүрсний үзүүлэлтийн дундаж утгууд нь тооцооны үзүүлэлтээс хэрхэн өөрчлөгдөж буйг 5.15-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Шивээ-Овоогийн нүүрсний үзүүлэлтийн өөрчлөлт 2016-2018

Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Төслийн үзүүлэлт	Шинжилгээний үзүүлэлт, /он/		
			2016	2017	2018
Дэгдэмхий бодис	%	45,0	41,29	40,78	41,07
Нүүрстөрөгч	%	31,0	-	-	-
Үнслэг	%	16,0	14,91	13,07	13,46
Чийглэг (нийт)	%	39,0	42,6	43,04	42,88
Илчлэг	кКал/кг	2900,0	2941,92	2959,92	2968,25

Дээрх хүснэгтээс харахад дэгдэмхий бодисын хэмжээ 3,71...4,22%-аар, үнслэгийн хэмжээ 1,09...2,93%-аар тус тус буурсан бол чийглэгийн хэмжээ -3,6...4,04%-аар, илчлэгийн хэмжээ 41,92...68,25 кКал/кг-аар тус тус нэмэгдсэн байна.

Эдгээр үзүүлэлтийн өөрчлөлтүүд нь зуухны галын хотол дахь шаталтанд хүчтэй нөлөө үзүүлдэг учир нарийвчлан сайтар судлах шаардлага тулгарч байна.

6. ТООСОН НҮҮРСНИЙ ГАЛЫН ХОТЛЫН СУДАЛГАА

6.1. Галын хотол дахь хатуу түлшний шаталтын механизм

Хатуу түлшний жижиг хэсгийн шаталтын процессийн талаар Л.Н.Хитрин, Е.С.Головина, С.Бухман, Р.Ессенхай, М.Шибатока, В.И.Бабий нарын эрдэмтэд судалгааны ажлууд хийж гүйцэтгэсэн байдаг бөгөөд эдгээр эрдэмтэдээс В.И.Бабий маш сайн судалгааны ажил гүйцэтгэсэн байдаг [53-59]. Хатуу түлшний шаталтын процессуудыг судласан судалгааны ажлуудад түүний жижиг хэсгийн шаталтын процессийг дараах үе шатуудад хуваан авч үзсэн байдаг. Үүнд: халалт, хаталт, пиролиз болон дэгдэмхий эд ялгаран гарах процесс, түүний шатах процесс, мөн коксын үлдэгдлийн шаталтын процесс. Паркусын хийсэн судлагааны ажилд түлшний жижиг хэсгийн халалтын процессийг хугацааны туршид температурын өөрчлөлтөөс нь хамааруулан хангалттай удаан явагддаг учир урвалын тэнцвэрийн үүднээс хэд хэдэн үе болгон авч үзэж болно хэмээн үзсэн байдаг [59].

Н.Н.Семенов, Я.Б.Зельдович нар конденсацлагдсан бүтээгдэхүүний асалтын талаар томоохон судалгааны ажил гүйцэтгэсэн байдаг бөгөөд тэдний судалгааны ажилд асалтын параметрийг тодорхойлох аргачлалыг боловсруулсан байдаг бөгөөд асалтын талаар дурдалгүй өнгөрсөн байдаг [60-61]. Эдгээрээс өмнө хийгдсэн судлагааны ажлууд нь ихэвчлэн пуужингийн түлшний шаталтын талаар судлагдсан байдаг.

Эрдэмтэд түлшний хэсгийн талаар авч судлахдаа $(0,2...0,5) \cdot 10^{-3}$ м хэмжээтэй хэсгийг жижиг хэсэг хэмээн үзэж тоосон нүүрсний шаталтын талаар судласан байдаг бол түүнээс том хэмжээтэй хэсгийг том ширхэгтэй түлш гэж үзээд буцламтгай үет шаталтын технологи болон бусад технологийн үеийн түлшний шаталтын процессийг судласан байдаг. Эдгээр нь хоорондоо дулааны болон материалын балансын хувьд ялгаатай юм. Жижиг хэсгийн коксын үлдэгдлийн шаталт нь хугацааны эрэмбээрээ хязгаарлагддаг болхыг тодорхойлсон байдаг [53, 62, 63]. Том ширхэгтэй түлшний шаталтын судлагааны үед илүү нарийн процессууд ажиглагддаг бөгөөд тэдгээр нь тэдгээр нь жижиг хэсгийн шаталтаас маш бага ялгаатай явагддаг оршихо [53, 62, 64]. Том ширхэгтэй түлшний шаталтын процессийн үед дулааны хүчдэлийн өөрчлөлт байнга явагдаж байдаг тул том ширхэгтэй түлшний хэсэг нь өөрийн огтлолдоо температурын градиентийг үүсгэж байдаг. Коксын үлдэгдлийн бүрэн шаталтын онолын загварыг Л.Н.Хитрин, Б.В.Канторович, Д.Б.Сполдинг, В.И.Бабий нарын классик судлагааны ажил [53, 58, 62, 63] болон бусад судлаачдын ажилд дурдсан байдаг.

Эдгээр судлаачдын бүтээлүүдээс харахад маш олон шийдвэрлэх чухал асуулууд эрчим хүчний салбарын өмнө тулгарч байна. Үүнтэй зэрэгцэн нүүрсний уурхайнуудын

ашиглалтыг сайжруулах, тэдгээрийн шаталтын процессийг үр ашигтай хийгээд эрчимтэй болгох, цаашилбал үндсэн гурван үзүүлэлтээс гадна экологийн өндөр үр ашигтай дулааны болон дулааны цахилгаан станц барих тухай асуудал чухлаар тавигдаж байна.

6.2. БКЗ-420-140 маягийн зуухны галын хотол дахь түлшний шаталтын аэродинамик загварчлалын судалгааны зарим үр дүн

Өнөөдрийн байдлаар ДЦС-4 ТӨХК-ийн БКЗ-420-140 маягийн зууханд Багануур, Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсийг дангаар нь болон хольц байдлаар түлж байгаа бөгөөд тус зуухны зарим үзүүлэлтүүдийг доорх хүснэгтэд үзүүлэв.

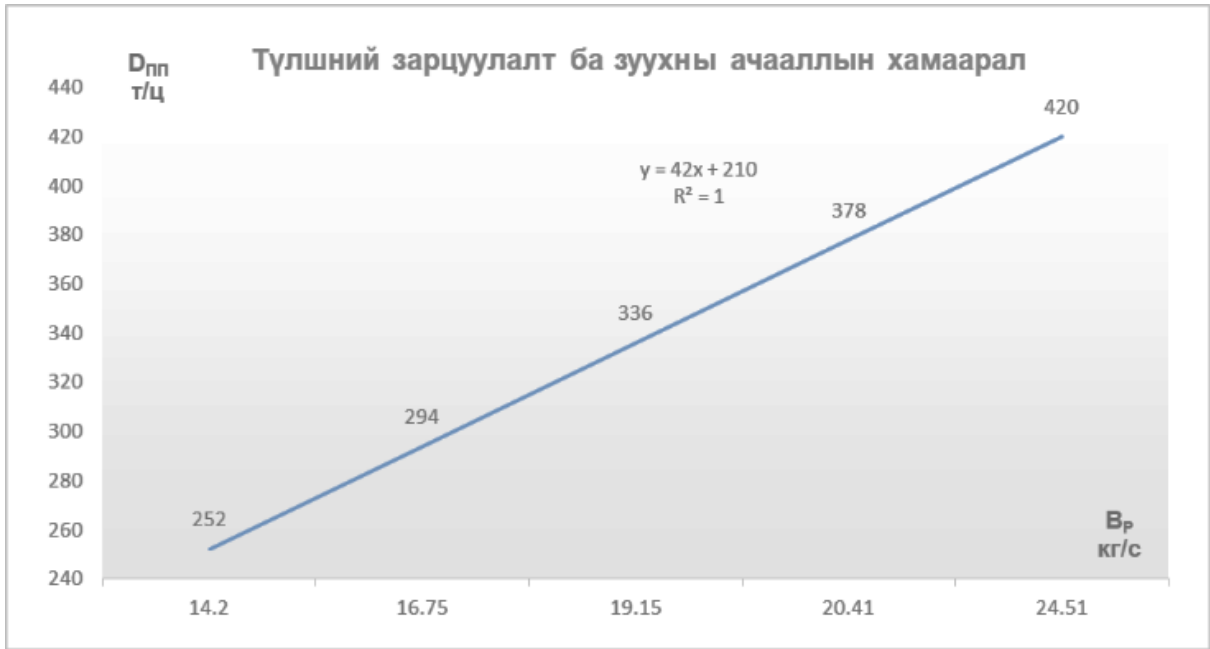
Хүснэгт 6.1

Багануурын нүүрс түлж буй БКЗ-420-140 маягийн зуухны зарим үзүүлэлтүүд

Зуухны ачаалал, тн/ц	Багануур		
	Тооцоот түлшний зарцуулалт, кг/с	Галын хотлын халах гадаргуугийн дулааны хүчдэл, кВт/м ²	Галын хотлын эзлэхүүний дулааны хүчдэл, кВт/м ³
420	24,64	137,4	225,94
378	20,52	114,42	189,08
336	19,25	107,35	176,51
294	16,84	93,9	154,41
252	14,28	79,6	130,94

Дээрх хүснэгтэд Багануурын нүүрсний дулаан гаргах чадвар $Q_H^p = 3500$ кКал/кг, шаталтанд шаардлагатай онолын агаарын эзлэхүүн $V_B^0 = 3,33$ нм³/кг, хурц уурын энтальпи $i_{пп} = 832,9$ кКал/кг, тэжээлийн усны энтальпи $i_{пп} = 237,2$ кКал/кг, зуухны сүүлийн үеийн илүүдэл агаарын коэффициентийг $\alpha = 1,46$ үед Багануурын нүүрсний шаталтын бүтээгдэхүүний эзлэхүүний хэмжээ $V_r = 7,72$ нм³/кг байхад тооцоолсон болно.

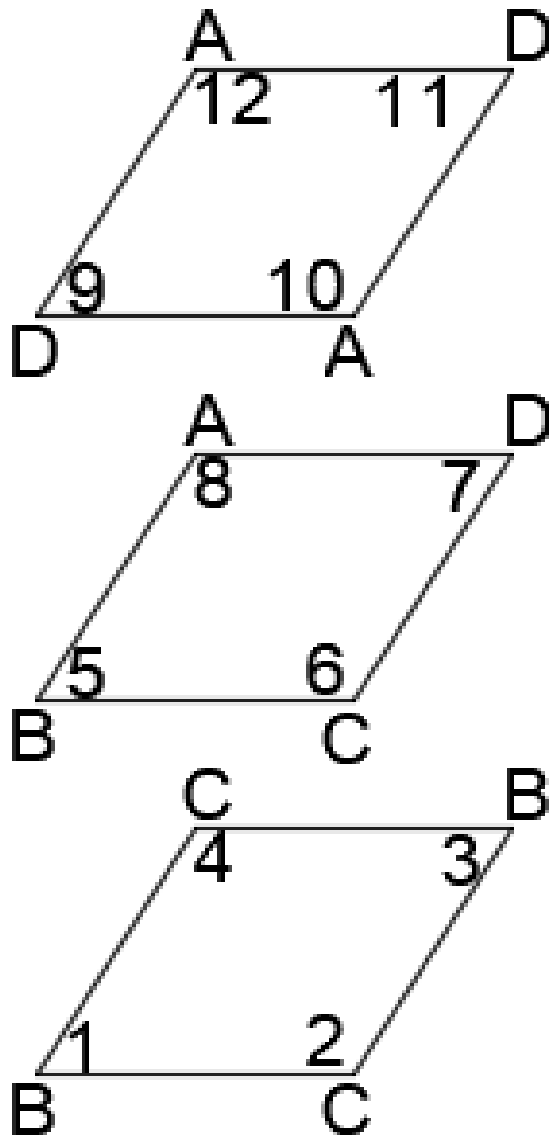
Зуухны түлшний зарцуулалтаас уурын бүтээмж хамаарах хамаарлын графикийг доорх 6.1-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 6.1. БКЗ-420-140 маягийн зуухны түлшний зарцуулалт ба уурын ачааллын хоорондын хамаарал

Түлшний зарцуулалтаас зуухны ачаалал хамаарах дээрх графикаар регрессийн коэффициент $R^2=1$ гарсан бөгөөд $y=42x+210$ тэгшитгэл практикт зуухны ачаалал 252-420 т/ц утгаас түлшний зарцуулалтийн 14,2-24,51 кг/с утгуудад энэ тэгшитгэл хүчин төгөлдөр байна.

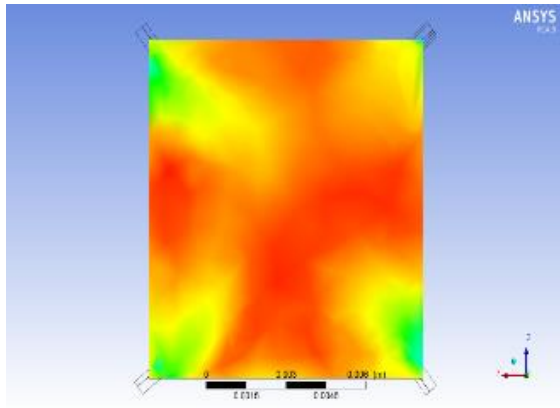
ТБС дэх тээрмүүдийн асаагууруудад хуваарилагдах схемийг 6.2-р зурагт үзүүлэв.



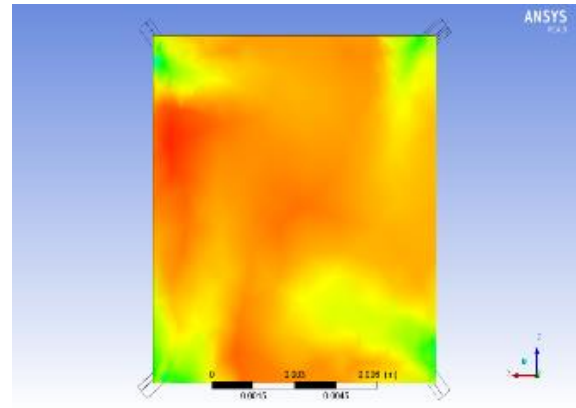
Зураг 6.2. Анхдагч агаарын хоолойнууд асаагууруудад хуваарилагдах схем. А тоос бэлтгэлийн системийн асаагууруудын дугаар 12, 8,10. В тоос бэлтгэлийн системийн асаагууруудын дугаар 5, 1, 3. С тоос бэлтгэлийн системийн асаагууруудын дугаар 6, 2, 4. D тоос бэлтгэлийн системийн асаагууруудын дугаар 11, 7, 9.

БКЗ-420-140 зуух нь 12 ширхэг асаагуур, 4 тээрэмтэй ба 1 тээрэм нь 3 асаагуурт тоос агаарын холимгийг өгөх үүрэгтэй. Зуухны хэвийн ачааллын үед анхдагч агаарын хурдыг 17,9 м/с байхыг онолын тооцооны аргаар тодорхойлсон.

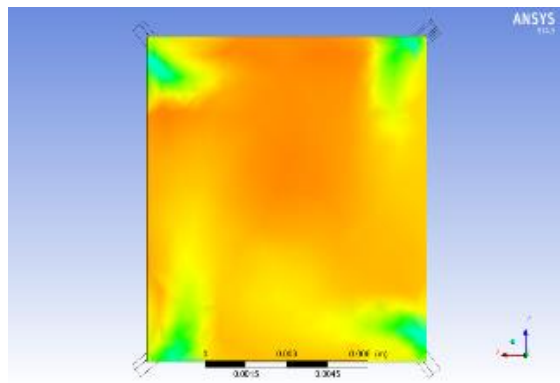
Тоос бэлтгэлийн системийн тээрмүүд бүгд ажиллаж байгаа үед галын хотол дахь температурын тархалт хэрхэн өөрчлөгдөж буйг компьютерийн симуляцийн ANSYS-14,5 программ ашиглан 6.3-р зурагт харуулав.



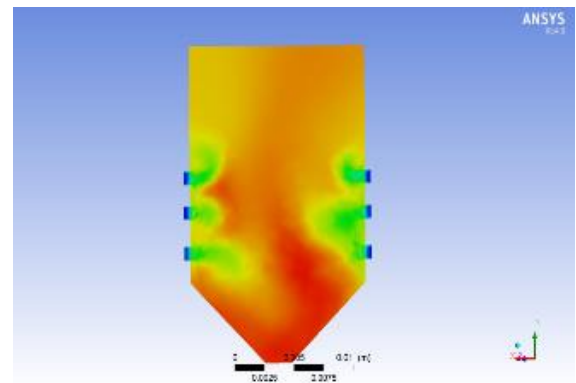
а



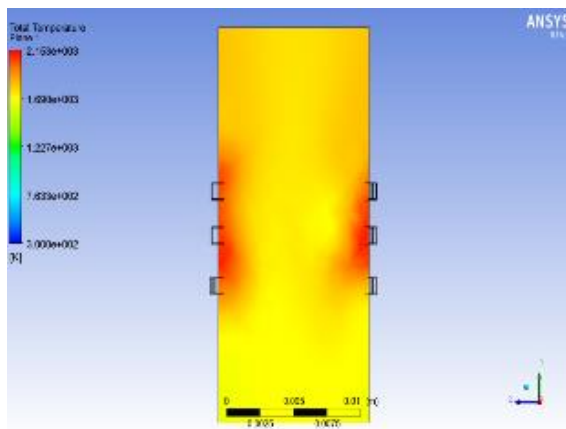
б



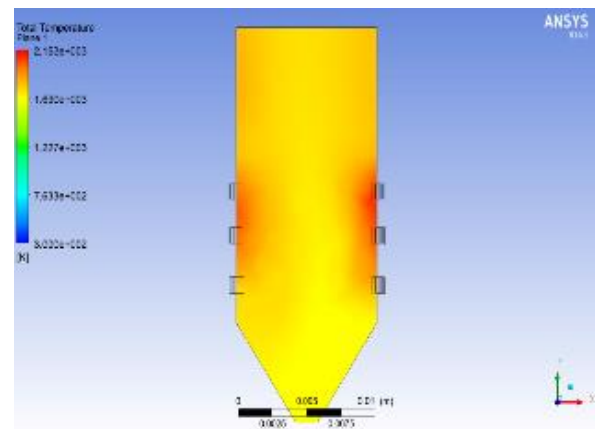
в



г



д



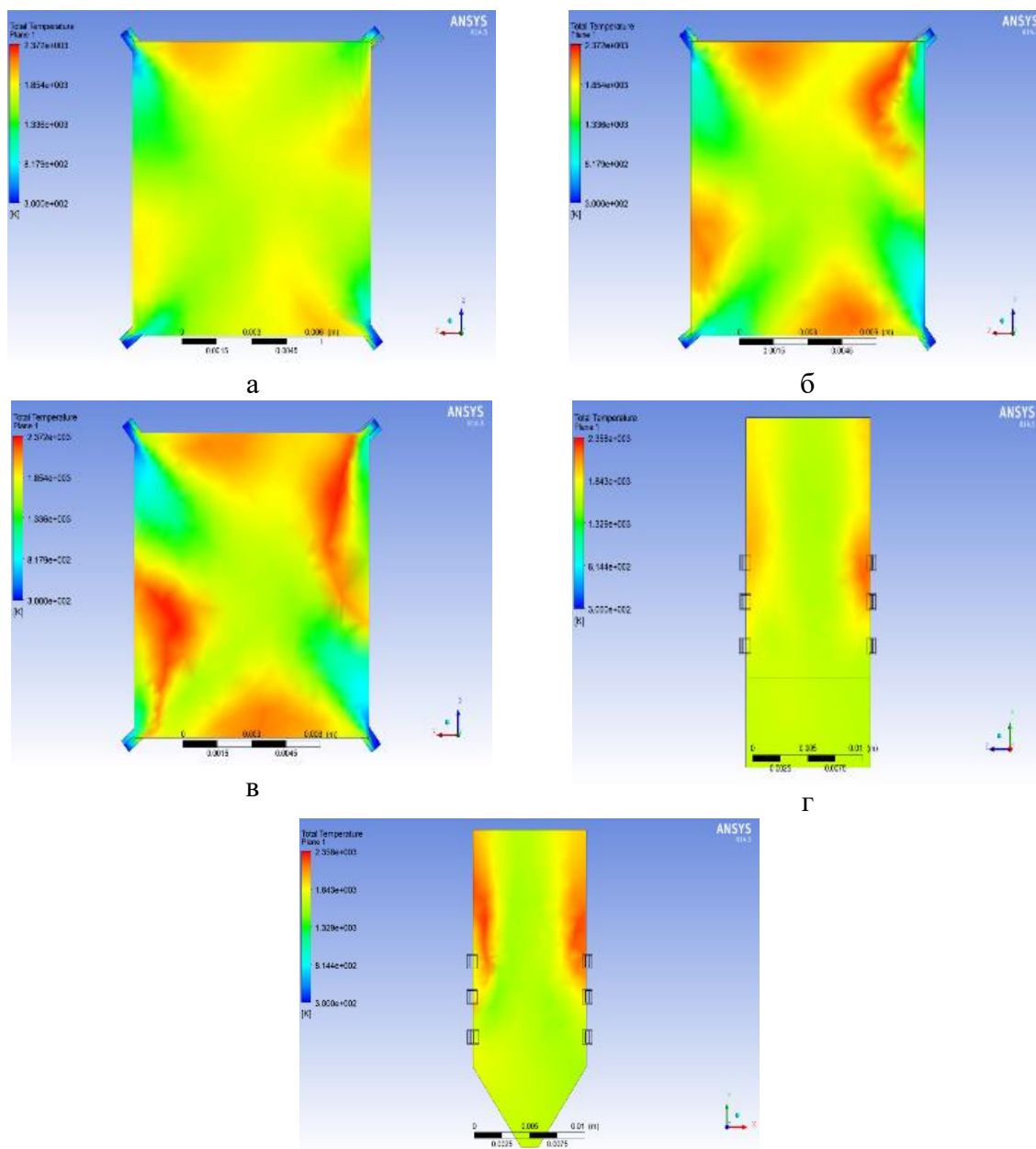
е

Зураг 6.3. Түлшний шаталтын үеийн аэродинамик судалгааны үр дүн.

а) 1-ярус б) 2-р ярус в) 3-р ярус г) диагналын зүсэлт д) хажуугийн зүсэлт е) нүүрний зүсэлт. 1) анхдагч агаарын хурд 17,9 м/с, 2) хоёрдогч агаарын хурд 29,5 м/с.

Тоос бэлтгэлийн системд гарсан эвдрэл гэмтэл, засвар үйлчилгээ хийх зэрэг шалтгааны улмаас аль нэг тоос бэлтгэлийн систем зогсвол, хэвийн ачааллыг хангахын тулд үлдсэн ажиллагаатай байгаа 9 асаагуурт өгөх түлшний зарцуулалтыг нэмэгдүүлэх шаардлагатай. Ингэснээр ажиллаж байгаа 9 асаагуур дахь анхдагч агаарын хурд 23,9 м/с болж өсөх бөгөөд гурван тээрэм ажиллаж байх үеийн галын хотлын температурын

тархалтыг авч үзье. Тоос бэлтгэлийн системийн А тээрэм зогссон үеийн галын хотлын хуйлралтын зургийг 6.4-р зурагт үзүүлэв.

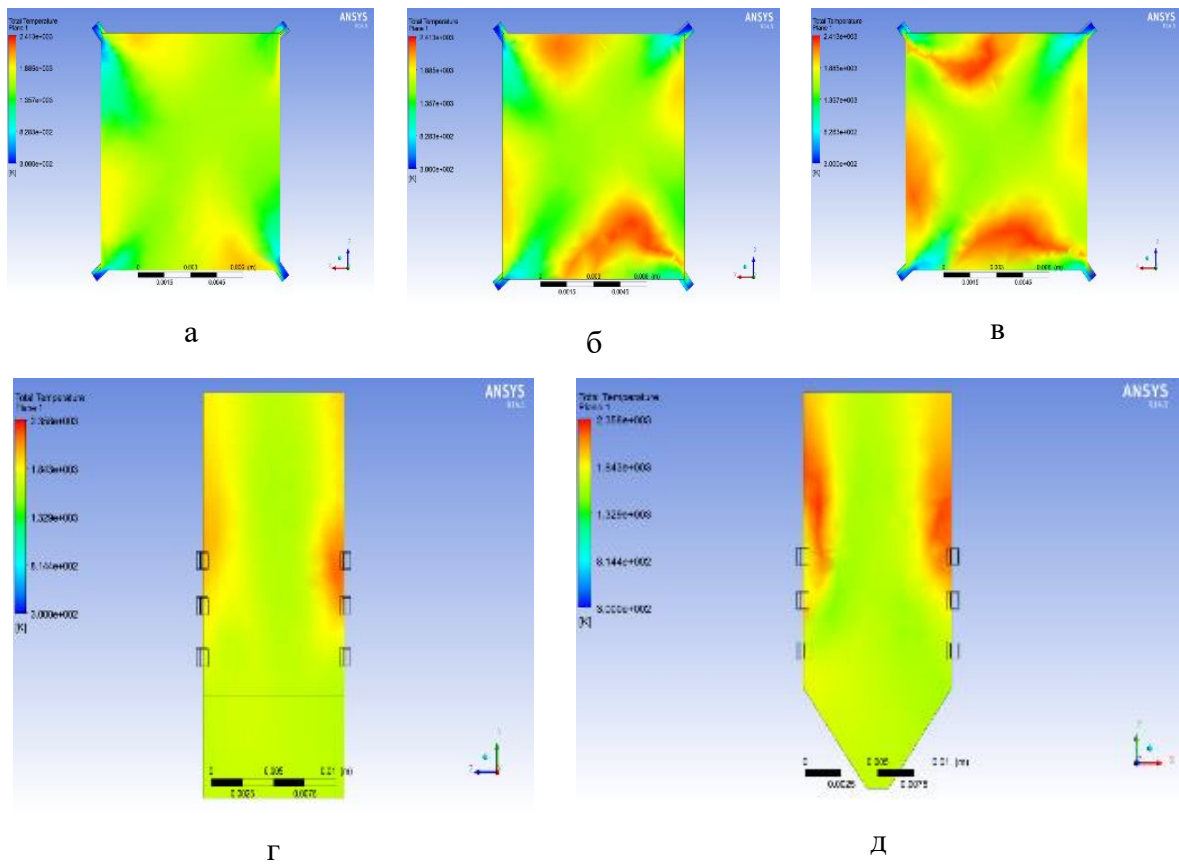


Зураг 6.4. Тоос бэлтгэлийн системийн А тээрэм зогссон үеийн аэродинамикийн судалгааны үр дүн. а) 1-ярус б) 2-р ярус в) 3-р ярус г) нүүр д) хажуу. 1) анхдагч агаарын хурд 23,9 м/с.

Тоос бэлтгэлийн системийн А тээрэм зогссон үед 1-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт нь хэвийн ажиллагатай үетэй харьцуулахад жигд боловч температур өссөн учир q_v (дулааны хүчдэл) өссөн байгаа нь харагдаж байна. Зуухны ханын ойролцоох дулааны хүчдэл буурч, шаталт галын хотлын төв хэсэгт явагдаж байна. 2-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт жигд бус болсон. Учир нь 2-р

ярусын А8 асаагуур зогсож, тухайн хэсэг дэх галын хотлын аэродинамикийн процесс тогтворгүй болсон, асаагууруудын хажуу ханын дулааны хүчдэл өссөн зэргээс шалтгаалсан байна. Харин 3-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт нь хоёр хажуу ханаа дагасан хэлбэртэй байна. Энэ нь тоос бэлтгэлийн системийн А тээрэм зогсож, 3-р яруусын А10, А12 асаагууруудын түлшний өгөлт зогссоноос шалтгаалан дээрх байдлаар дүрслэгдсэн байна.

Гурван тоос бэлтгэлийн систем ажиллаж байх үеийн галын хотлын температурын тархалтыг авч үзье. Тоос бэлтгэлийн системийн D тээрэм зогссон үеийн галын хотол дахь шаталтын бүтээгдэхүүний хуйлралыг доорх 6.5-р зурагт үзүүлэв.



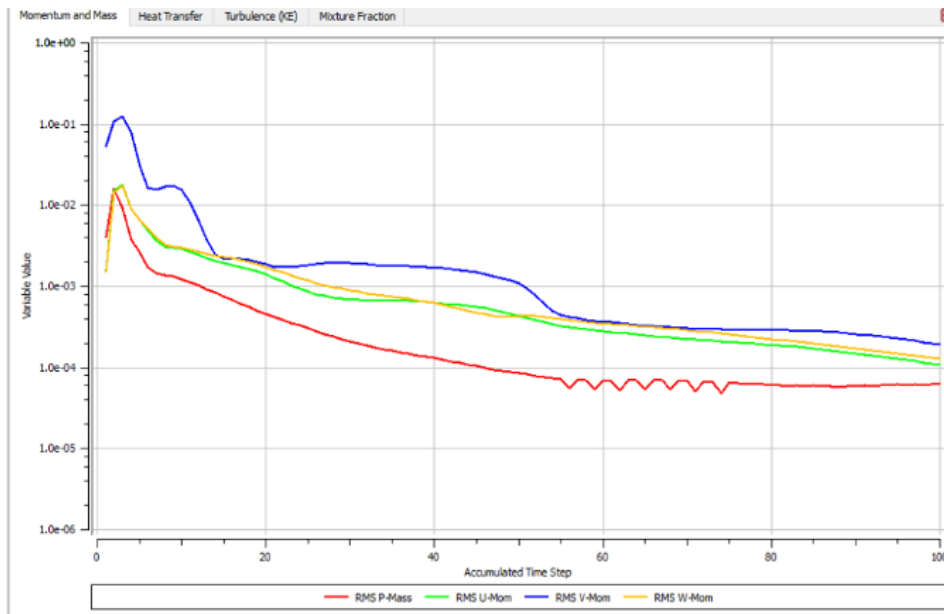
Зураг 6.5. Тоос бэлтгэлийн системийн D тээрэм зогссон үеийн аэродинамикийн судалгааны үр дүн. а) 1-ярус б) 2-р ярус в) 3-р ярус г) нүүр д) хажуу. 1) анхдагч агаарын хурд 23,9 м/с.

Тоос бэлтгэлийн системийн D тээрэм зогссон үед 1-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт нь харьцангуй жигд байгаа ба зуухны ханын ойролцоох дулааны хүчдэл буурч, шаталт галын хотлын төв хэсэгт явагдаж байна.

2-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт жигд бус байгаа нь 2-р ярусын D7 асаагуур зогсож, тухайн хэсэг дэх галын хотлын аэродинамикийн процесс тогтворгүй болсон, асаагууруудын хажуу ханын дулааны хүчдэл өссөн зэргээс болжээ.

3-р ярусын тэнхлэгийн дагууд температурын тархалт нь хоёр хажуу ханаа дагасан хэлбэртэй байна. Энэ нь тоос бэлтгэлийн системийн D тээрэм зогсож, 3-р яруусын D9, D11 асаагууруудын түлшний өгөлтийг хаасан учраас ингэж дүрслэгдсэн байна.

Компьютерийн симуляцийн программаар тооцоолон гарган авсан үр дүнг 6.6-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 6.6. Ansys 14.5 программаар тооцоолсон аэродинамик судалгааны үр дүн

RMS V-Mom-гийн 50-аас эхлээд огцом бууралт ажиглагдсан ба энэ бууралтын төгсгөл хэсгээс эхлэн даралтын өөрчлөлтийн хэлбэлзэл эхлэж байна. Энэ хэлбэлзэл нь RMS V-Mom-ийн утгын тогтворжих үе хүртэл үргэлжиж байна. Энэ нь зуухны ажиллагааны явцад галын хотолд лугшилт үүсгэх гол нөхцөл болдог байж болох юм. Мөн галын хотолд дулаанаа бүрэн өгж амжаагүй, дутуу шатсан хэсгүүдийг дээш нь хөөрөгдөх, мөн нөгөө талаар халах гадаргууд үнс шааргыг цохиж нааж өгөх үйлчилгээ үзүүлдэг байж болох юм.

Галын хотлын зөв хуйлралын процессийг эвддэг учраас тоос бэлтгэлийн системд ажиллаж буй тээрмүүдийг аль болох жигдхэн, өөрөөр хэлбэл нүүрсний болон хатаалгын агентын ачаалал харьцангуй жигд байх шаардлагатай.

Энд галын хотлын халах гадаргуугийн жигд хүчдэл алдагддаг учраас зуухны тоос бэлтгэлийн системд эвдрэл гэмтэл гарч, засвар үйлчилгээ хийх зэрэг тохиолдолд, аль нэг тээрэм зогсвол дээрх хүндрэлтэй байдлыг арилгахын тулд халах гадаргуугийн дулааны хүчдэлийг тэнцвэржүүлэх арга хэмжээ авах хэрэгтэй.

Иймд ТБС-ийн зогсолтын хугацааг аль болох бага байлгах нөхцлийг бүрдүүлэн ажиллах нь зуухны найдвартай ажиллагааны үзүүлэлтийг дээшлүүлэх нэг нөхцөл болно.

6.3. Улаанбаатар хотын ДЦС-4 ТӨХК-ийн БКЗ-420-140 зуухны халах гадаргуугийн шааргадалтыг тогтоох дулаан техникийн иж бүрэн туршилт судалгааны ажлын зарим үр дүн

Шивээ-Овоогийн нүүрсний үнсний найрлагыг химийн нэгдэл ба элементийн түвшинд нарийвчлан судласнаар түүнийг эзлэхүүний галын хотолд нүүрсний тоос, агаарын холимгийн хэлбэрээр дөлт шаталтаар шатаах үед халуун хайлмаг үнсэн дэх элементүүд ямар төрх байдал үзүүлэх, энэ үед үүсэх галын хотлын аэродинамикийг ажиглах судалгааг хийв.

Улаанбаатар хотын 4-р ДЦС-ын БКЗ-420-140 10С маягийн 2, 5-р зуухны халах гадаргуугийн шлагдалтын шалтгааныг тогтоох дулаан техникийн иж бүрэн туршилтыг Эрчим хүчний Удирдах газрын зуухны туршилт, тохируулгын албанаас мөрддөг аргачлалын дагуу хийсэн. Туршилтын хугацаанд тус станцад Багануур, Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсийг дангаар нь болон хольж түлж байв.

Тоос бэлтгэлийн системд ажиллаж байгаа булт тээрмийн бул ба тавагны диаметрийг зогсолтын үед үзлэг шалгалт хийж тохируулсан тохиолдолд, нүүрсний нунтаглалтын хэмжээнд гарах өөрчлөлт нь зөвхөн тоос бэлтгэлийн системээр дайран өнгөрөх хатаалгын агентын зарцуулалтаас хамаарах болно. Нүүрсний хатаалгын хэмжээ нь тоос бэлтгэлийн системээр дайран өнгөрөх хатаалгын агентын зарцуулалт болон температураас хамаарах юм. Нүүрс хатаах төхөөрөмжинд хатаалгын агент болгож зуухны агаар халаагчийн 2-р үеэс гарах 260...310 °С температуртай халуун агаар эсвэл 500...900 °С температуртай утааны хийг хэргэлдэг. Хатаалгын агентын температур нүүрснээс дэгдэмхий эд ялгарах температураас их байгаа тул ДЦС-уудад ашиглагдаж байгаа тоос бэлтгэх системүүдийн хувьд нүүрсний дэгдэмхий эд галын хотолд бус тодорхой хэсэг нь хатаах төхөөрөмж болон тээрэм дотор ялгардаг болох нь туршилтаар тогтоогдсон.

Зуухны шааргадалтын процесс нарийн нийлмэл олон хүчин зүйлсийн хамаарлын процесс бөгөөд ихэвчлэн галын хотлын хийц, галын хотлын аэродинамик, тоос бэлтгэх системийн ажиллагаа, тоосны нунтаглалтын хэмжээ, нүүрсний дулаан физикийн шинж чанар, эрдсийн бүтэц, галын хотлын дулаан солилцоо, асаагуурын зөв жигд ажиллагаа, анхдагч болон хоёрдогч агаарын харьцаа зэрэг маш олон хүчин зүйлээс хамаардаг. Туршилтанд тоос бэлтгэлийн системд, асаагууруудад очих тоос хатаалгын хатаалгын

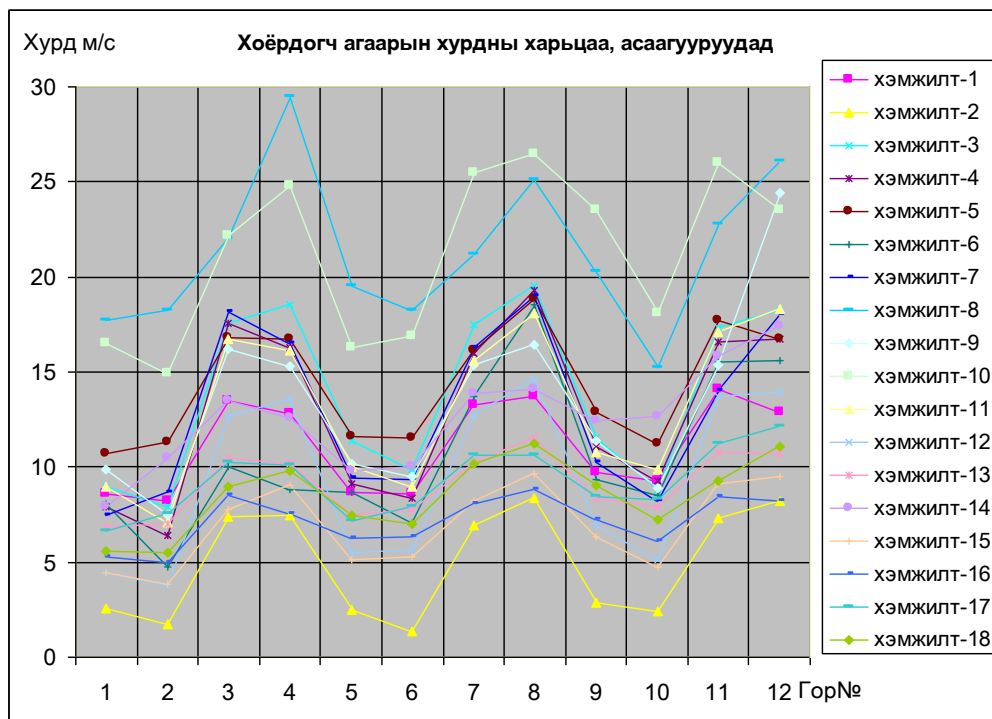
агентын эсэргүүцлийг тэнцвэржүүлэх зорилгоор нэмэлт эсэргүүцлийг нарийсах төхөөрөмж болон нэмэлт шайбыг туршилтаар тогтоон тодорхой байрлалд тавьж өгсөн.

Асаагуурт орж буй ажлын биеийн хурдыг бүрэн хэмжиж үзэхэд асаагуур бүрт очиж байгаа хурд ихээхэн хэлбэлзэж байгаа нь туршилтаар тогтоогдсон. Зураг 6.7-д К-5 зуухны асаагуурууд дээрхи хоёрдогч агаарын хурдны утгын хэмжилтийг үзүүлэв. Эндээс үзэхэд асаагуур дээрх хурдны утга практик дээр нилээд ялгаатай байгаа нь ажиглагдаж байна.

Зуухны шлагдалтын гол үндсэн шалтгаан асаагуурт очиж байгаа хоёрдогч агаар болон тоосны хольцийн хурд буюу анхдагч агаарын хурд тухайн зуухны төслийн үндсэн өгөгдөлтэй таарахгүй байгаатай холбоотой байна.

Хоёрдогч агаарын хурд асаагуур тус бүрт харилцан адилгүй хэт зөрүүтэй, зарим үед нормт хэмжээнээс 2-3 дахин бага хурдтай байгаа нь дөлний зөв хэлбэр болон байрлалд нөлөөлж, агаарын хурдны дутагдалтай байдлаас коксын үлдэгдэл гүйцэд шатахгүйгээр халах гадаргууд шүргэлцэж шааргадалтын голомтыг үүсгэж байна.

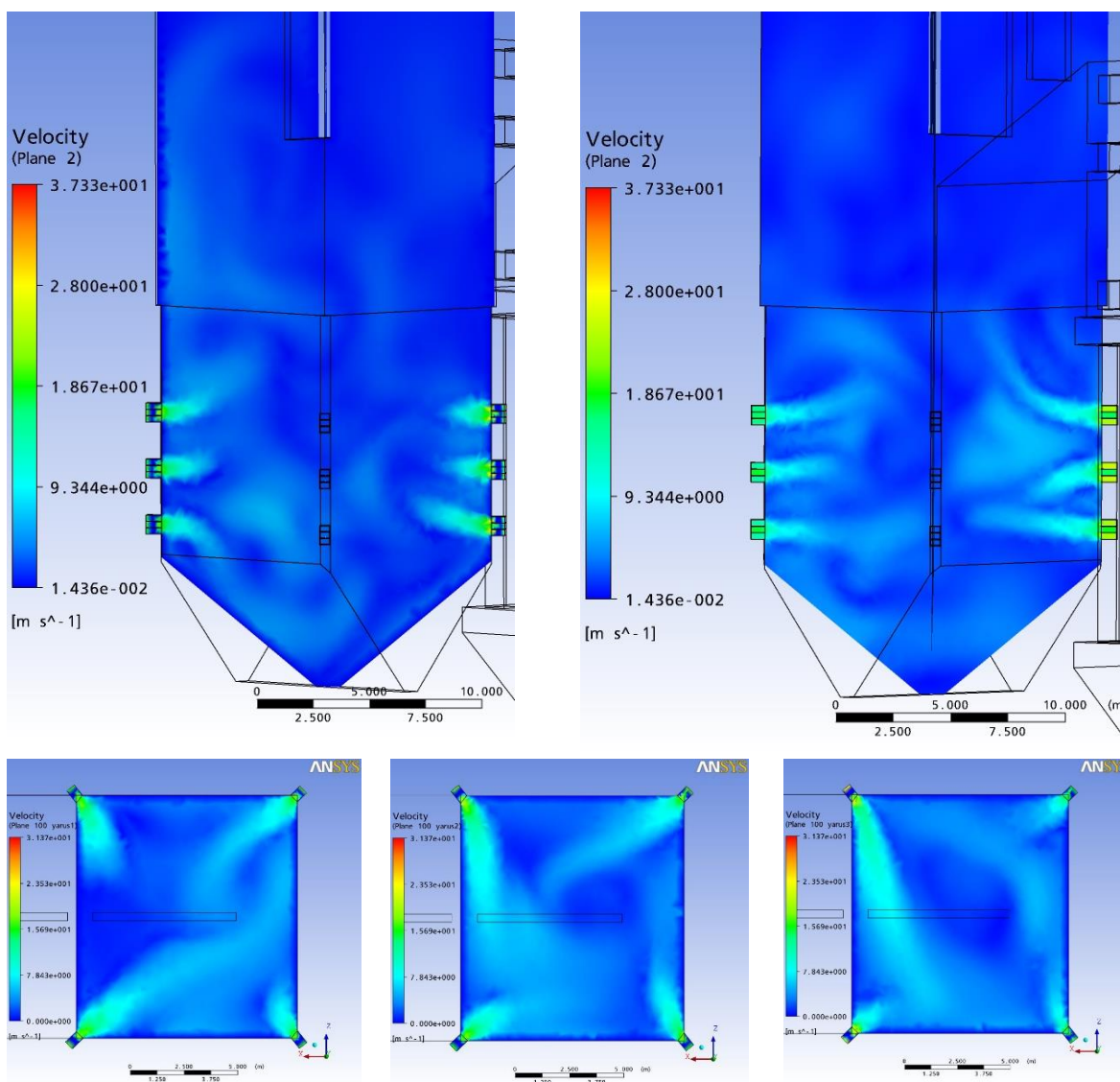
Зуухны халах гадаргуугийн шааргадалтанд нөлөөлдөг өөр нэг гол хүчин зүйл тоосны ширхэгжилтийн жигд байдал бөгөөд тээрэм тус бүрийн тоосны ширхэгжилтийг тээрмээс гарах хоолой аль эгнээний асаагуурт өгөгдөж байгаагаас шалтгаалан тохируулах шаардлагатай ба дээд эгнээний асаагуурууд руу явж буй тоосны нунтаглалтын хэмжээ их байх шаардлагатай.



Зураг 6.7. К-5 зуухны асаагуурууд дээрх хоёрдогч агаарын хурд

БКЗ-420-140 зуухны анхны зураг төслөөр асаагуурууд дээр өгөгдсөн агаар тоосны холимгийн хурдыг өгөгдөл болгон авч тоос бэлтгэлийн системийн шинэчлэлт хийсний дараах галын хотол дахь аэродинамикийн төлөв байдлыг Solidworks загвар ашиглан ANSYS-11 програм ашиглан математик загварчлал зохиож судалгааны ажлыг явуулав.

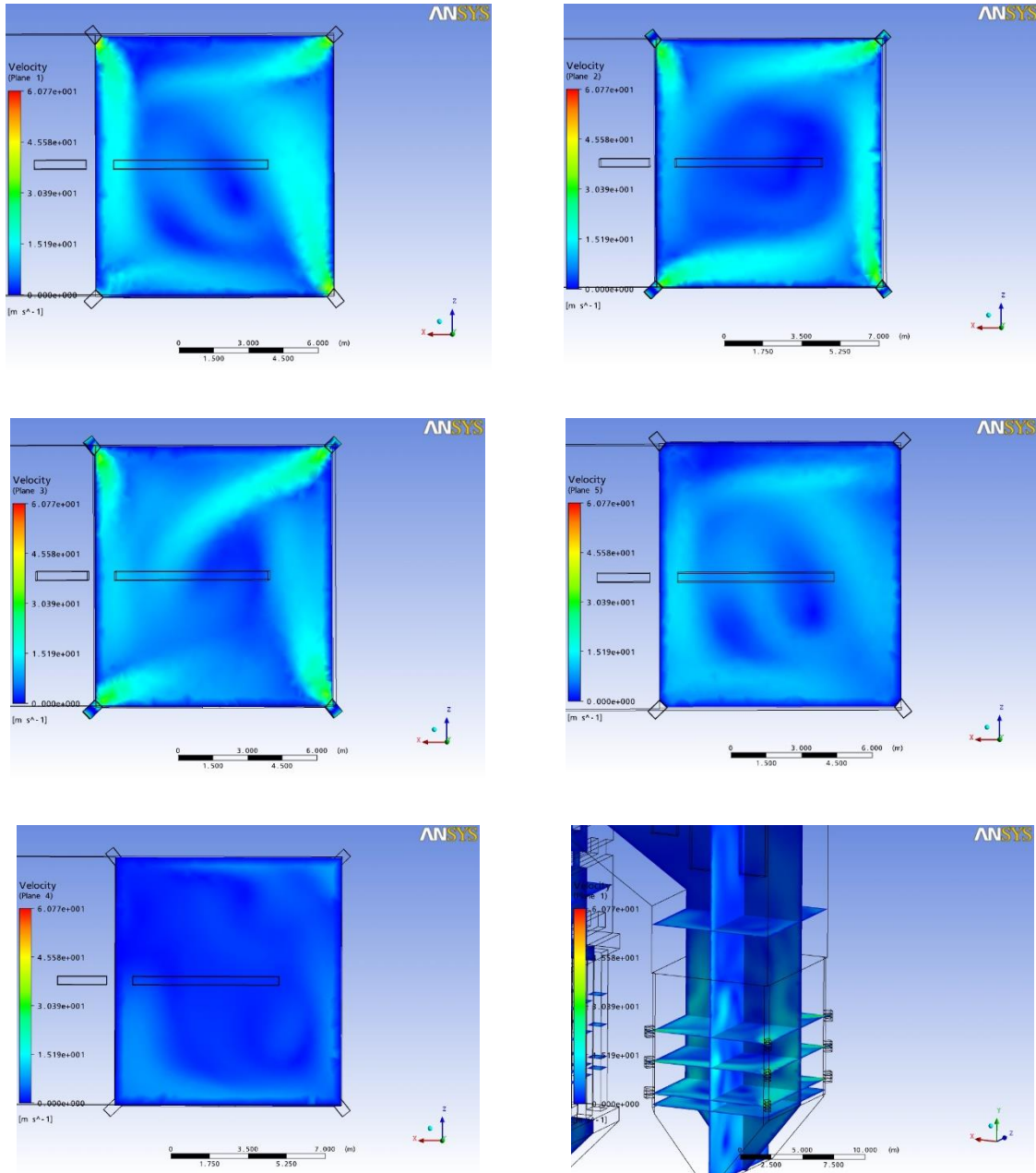
Зураг 6.8-д анхдагч агаарын хурд 35 м/с, хоёрдогч агаарын дундаж хурд 24 м/с орчим байгаа бөгөөд галын хотлын асаагуурууд байрласан 3 ярусын дагуух хэвтээ оглолууд, 29 м дэх хэвтээ огтлол, тэгш хэмийн тэнхлэгийг дайран гарсан нүүрний экранд паралель босоо огтлол дахь урсгалын хурдын тархалтын орныг үзүүлэв. Эндээс үзэхэд асаагууруудаас өгөгдөж байгаа ажлын биеийн хурд зөв биш байрлалтай тархаж байна.



Зураг 6.8. Галын хотлын аэродинамикийн зөв бус хэлбэр

Зуухны тоос бэлтгэлийн системийн аэродинамикийн тооцоог шинээр хийсний үндсэн дээр гаргасан асаагуурууд дээрхи агаар-тоосны холимгийн хурдыг өгөгдөл

болгон авч аэродинамикийн процессийг математик загварчлал дээр тооцоолон гаргасан үр дүнг 6.9-р зурагт үзүүлэв. Энэхүү тооцоололд анхдагч агаарын дундаж хурд ойролцоогоор 18 м/с, хоёрдогч агаарын хурдыг төслийн тооцооны дагуу 35 м/с-ээр авч тооцсон. Харьцуулалт хийх зорилгоор хурдны утгуудыг 20%-иар ихэсгэж, багасгаж нилээд хэдэн хувилбараар тооцсон.



Зураг 6.9. Японы төслийн мэргэжилтнүүдийн зөвлөсөн хурдаар тооцоолсон галын хотлын аэродинамикийн симуляцийн загварчлалын үр дүн

Зураг 6.9-ийг харахад галын хотолд тэгш хэмтэй хуйларсан хөдөлгөөн үүсч байгаа бөгөөд энэ үед халах гадаргуу дээр шлакдалт үүсэлт харьцангуй бага байсан.

БКЗ-420-140 зууханд шатааж туршин галын хотлын температурын орныг нарийвчилсан хэмжилтийн нэлээд олон горимуудад явуулсаны үр дүнг хүснэгт 6.2-т үзүүлэв.

Хүснэгт 6.2-ын үр дүнгээс харахад зуухны ачаалал 406-408 т/ц байх үед галын хотлын 17600, 21000, 24000 мм тэмдэгт түвшинд дөлний температур 1049-1266 °С орчим байгаа нь хэмжилтээр тогтоогдов. Ялангуяа 17000-21000 мм-ийн тэмдэгт дээр хамгийн өндөр температур байнга ажиглагдаж байв. Харин 12000 мм-т дөлний температур харьцангуй нам (860-1000 °С) байлаа.

Энэ бүгдээс дүгнэлт хийхэд Шивээ-Овоогийн нүүрсний эрчим хүчний том чадлын уурын генераторт дөлт шаталтын технологиор шатаахад тохиромжгүй болох нь харагдаж байна. Өнөөдөр нэгэнт нэвтэрсэн технологийн хувьд бол зуухны галын хотлын аэродинамикийг сайтар зохион байгуулан дөлний байрлалыг нарийн хянаж, түүнийг цацрагийн халах гадаргууд ойртуулахгүйгээр зохион байгуулах нь чухал юм. Үүний тулд галын хотолд анхдагч ба хоёрдогч агаар өгөх хурдыг математик загварчлал дээр судлан асаагуурын хийцийг шинэчлэн тогтоосон.

БКЗ-420-140 зуухны галын хотлын эзлэхүүн дэх дөлний температурын тархалтыг тус зууханд Шивээ-Овоогийн нүүрс түлж байх үед зуухны ачааллын янз бүрийн утгуудад хэмжиж авсан бөгөөд тэдгээр хэмжилтийн үр дүнг 6.2 дугаар хүснэгтэд харуулав.

Хүснэгт 6.2

БКЗ-420-140 зуухны галын хотлын эзэлхүүнд дөлний температурын тархалт
(Шивээ-овоогийн нүүрсэнд зуухны янз бүрийн ачаалалтай үед)

Зуухны түвшин, мм	Зуухны уур үйлдвэрлэл $D_{пп} = 406$ т/ч												Түвшний дундаж температур, °С
	Зүүн			Урд			Баруун			Хойд			
24000	1126	1149	1166	1124	1167	1170	1162	1147	1129	1127	1156	1136	1146,6
21000	1156	1208	1196	1159	1220	1193	1160	-	1186	1167	1219	1182	1087,2
17600	907	1226	1155	-	1226	1067	989	1194	1103	890	1242	1091	1007,5
12000	865	1201	1022	813	1140	1056	860	1180	1051	841	1058	1044	1010,9
	Зуухны уур үйлдвэрлэл $D_{пп} = 390$ т/ч												
24000	1072	1119	1112	1074	1119	1101	1108	-	1092	1097	1111	1091	1008,0
21000	1118	1191	1161	1130	1171	1142	1146	-	1110	1120	1176	1150	1051,3
17600	896	1196	1106	1100	1205	1001	1021	1197	1126	1130	1204	905	1090,6
12000	872	1136	1040	1093	1062	981	860	1137	1072	1032	1103	1009	1033,1

Математик загварчлалын үр дүнгээр тогтоогдсон галын хотлын аэродиамикийн төлөв байдлыг хурдны тархалтын хэлбэрээр зуухны ачааллын нэлээд хэдэн горимд жишээ болгон зураг дээр харуулав.

Нүүрсний үнсний найрлага, элементийн бүтцийг нарийвчлан судлах явдал нүүрсийг ДЦС-д шатаах технологийн сонголт, үнсийг цаашид хэрхэн ашиглах асуудлыг шийдвэрлэхэд чухал үзүүлэлт болохын зэрэгцээгээр шинээр баригдахаар төлөвлөж байгаа ДЦС-ыг экологийн цэвэр технологитой иж бүрэн үйлдвэрийн хэмжээнд зохион байгуулахад үндэслэл болох юм.

7. НҮҮРСНИЙ ЭГЭЛ ХЭСГИЙН ДУЛААНЫ БОЛОН ШАТАЛТЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЧЛАЛ

7.1. Математик загварчиллын боловсруулалт, нүүрсний дулааны бэлтгэл болон шаталтын процессийн судалгаа

Дэлхийд дулаан болон цахилгааны энерги үйлдвэрлэх үйлдвэрлэлд дийлэнх хувьд нь нүүрсийг ашиглаж байна. Энергийн цаашдын хөгжил нь мөн л шинэ уурхайн бага сортын нүүрс ашиглах арга зам байсаар байх болно. Ийм орд газруудад МУ-ын Шивээ-Овоогийн нүүрсний уурхай хамаарах бөгөөд уг уурхайг бүрэн эзэмшээгүй бөгөөд энергийн хэрэглээнд идэвхитэй ашиглахын тулд нүүрсийг шатаах болон дулааны иж бүрэн судалгаа туршилтыг явуулах шаардлагатай. Энэ зорилгын хүрээнд уг судалгааны ажил хийгдэж байгаа болно.

Нүүрсийг асаах үеийн шаталтын тооцооллын үндэс нь нүүрсний бие даасан хэсгүүдийн шаталтын бүх явцыг тодорхойлох ажиллагаа юм. Байгалийн нүүрсний эдгээр процесс нь маш нарийн органик хувирал болон нүүрсний матрицын (эрдсийн) хэсэгт халаалт, хатаалт, дэгдэмхий эдийн ялгаралт болон шаталт, коксжсон үлдэгдлийн шаталт зэргийг өөртөө агуулдаг. Ийм нарийвчлал хийхэд маш нарийн физик математик загварчлал шаардагддаг.

Нүүрсний эгэл хэсэгт явагдах шаталтын талаар илүү үр дүнтэй туршилт, судалгааг дараах эрдэмтэд Л.Н.Хитрин, Е.С.Головина, С.Бухман, Р.Ессенхай, М.Шибоака, ВТИ-н В.И.Бабий нарийвчлан хийсэн байдаг [53-58].

Зуухны галын хотлын процессын тоон загварчлал нь нүүрсний эгэл хэсгийн шаталт болон дулааны боловсруулалтын хүчин зүйлүүдийн өргөн спекторыг тооцоолох ёстой. Одоогийн байдлаар уг процесст зориулсан хамгийн өргөн тархсан программ хангамжид Fluent [108], Ansys [109], Fire 3D [110], σ-Flow [111] г.м хамаарна.

Гэвч дээр нэрлэгдсэн хүчин зүйлүүд нь нүүрсний эгэл хэсгийн шаталт болон дулааны математик загварчлалын аргаар тодорхойлогддог. Түүний параметрын экспресс тооцооллыг гүйцэтгэх болон процессын нарийвчилсан параметрт үнэлгээ хийхэд зориулан хэрэглэж болох ойролцоолон дөхүүлэх-аналитик тооцооллыг гаргах авдаг.

7.2. Нүүрсний эгэл хэсгийн шаталтын процессын математик загварчлал

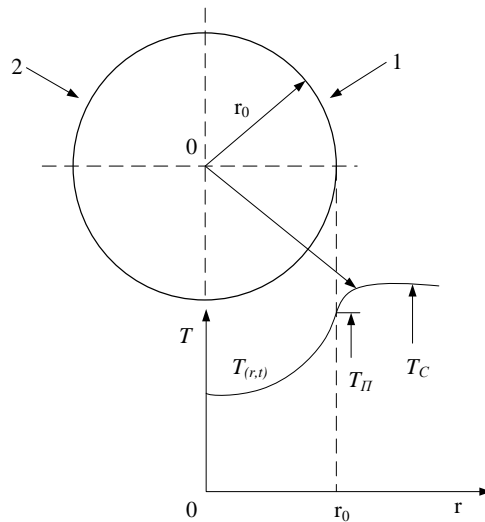
7.2.1. Бодлогын тавил ба шийдэл

Өндөр температурын хийн орчны нөлөөгөөр (зураг 7.1) нүүрсний эгэл хэсэгт халалт явагдах бөгөөд түүний гадаргын температур фазын шилжилтэд орно. Халалтын дүнд агуулагдаж буй чийг нь ууршина.

Дулааны конвекцийн болон цацаргалтын энергийн үйлчлэлээр нүүрсний халалт, хаталт, дэгдэмхий бодис ялгарах буюу (термодеструкц) шаталт, үлдэгдэл хэсгийн шатаж дуусах үе г.м нарийн хүчин зүйлүүдийн математик загварчлалыг тооцвол маш нүсэр бодолт болно. Тэдгээр нь шугаман бус математик бодолтыг үүсгэх ба энэ нь хамгийн сүүлийн үр дүн гарган авах бодолтыг нийлмэл болгоно. Мөн нөгөөтэйгүүр энэ ажил нь маш их хугацаа зарцуулах болно.

Шугаман бус хязгаарын нөхцөлд хамаарах үеийн нүүрсний эгэл хэсгийн халаалтын математик загварыг авч үзье. Стационар бус температурын оронд хязгаарын бодлого нь дараах систем тэгшитгэлээр бичигдэнэ.

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = ar^{-2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right], \quad 0 < r < r_0, \quad 0 < t < t_n \quad (7.1)$$



Зураг 7.1. Конвекцийн болон цацрагын дулаан солилцооны нөхцөлд нүүрсний эгэл хэсэгт явагдах халаалт. 1- цацаргалт, 2-конвекц.

Анхдагч нөхцөлөөр:

$$T(r, 0) = T_0, \quad (7.2)$$

хязгаарын нөхцлөөр:

$$\lambda \frac{\partial T(r_0, t)}{\partial r} = \sigma [T_c^4 - T^4(r_0, t)] + \alpha [T_c - T(r_0, t)], \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial T(0, t)}{\partial r}; \quad (7.4)$$

7.1-7.4-р систем тэгшитгэлүүдийг ерөнхий анализийг гаргах шаардлагатай тул нэгжгүй хэлбэрт шилжүүлэн бодож дараах үр дүнг гаргана.

$$\frac{\partial \theta(R, Fo)}{\partial Fo} = R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \frac{\partial \theta(R, Fo)}{\partial R} \right], \quad 0 < R < 1, \quad 0 < Fo, \quad (7.5)$$

$$\theta(R, 0) = \theta_0 \quad (7.6)$$

$$\frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial R} = Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)] \equiv Ki(Fo) \quad (7.7)$$

$$\frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial R} = 0, \quad (7.8)$$

энд:

$$R = \frac{r}{r_0}, Fo = \frac{at}{r_0^2}, \theta_0 = \frac{T_0}{T_c}, \theta(R, Fo) = \frac{T(r, t)}{T_c}; Sk = \frac{\sigma r_0 T_c^3}{\lambda}; Bi = \frac{\alpha r_0}{\lambda};$$

энд: R -нэгжгүй тухайн радиус (r, r_0 – тухайн болон нүүрсний эгэл хэсгийн эхний радиус, м); Fo - Фурьегийн тоо (a – температур дамжуулалтын коэффициент, м²/с; t – тухайн хугацаа, с); $\theta_0, \theta(R, Fo)$ - тухайн ба эхний нэгжгүй температур; $T_0, T(r, t), T_c$ - эхний, тухайн ба дундаж температур; Sk –Старкын тоо (σ –дулаан цацруулалтын коэффициент, Вт/(м²·К⁴); λ - дулаандамжуулалтын коэффициент, Вт/(м·К); Bi - Биогийн тоо (α – конвектив дулаан солилцооны коэффициент, Вт/(м²·К);

7.5 - 7.8-р бодолтоос яг нарийвчилсан аналитик утга гарахгүй бөгөөд түүний бодолтын уламжлалт аргаас үүссэн хүндрэл нь шугаман бус хязгаарын нөхцөл 7.7-г шугаман хэлбэрт оруулах зохиомол өөрчлөлтийг оруулах юм. Ийм бодолтын үеийн алдааг тооцдоггүй.

7.5 - 7.8-р хязгаарын бодлогыг түүний шугаман бус интеграл тэгшитгэлд шилжүүлэх замаар бодно. А.Н.Тихоновын [112] бодолтоор 7.5 - 7.8 тэгшитгэлийн системийг функционал тэгшитгэлд шилжүүлээд дараа нь гадаргын температурт шилжүүлсэн шугаман бус интеграл тэгшитгэлд шилжүүлэн бодно. Энэхүү аргын тусламжтайгаар хязгаарын бодлогын бодолтыг хийх боломжыг хангадаг ба тэрчлэн бие даасан бодолтуудын холбоосыг бий болгодог. Ийм шилжилтыг Лапласын интеграл хувиргалтын тусламжтай бодно. Энэ тохиолдолд:

$$\theta_L(R, s) - \theta_0 = Ki_L(s)F_L(R, s), \quad (7.9)$$

энд:

$$F_L(R, s) = sh\sqrt{s}R[\sqrt{s}R(ch\sqrt{s} + s^{-1/2}sh\sqrt{s})]^{-1}, \quad (7.10)$$

7.9-р томьёо нь ерөнхийдөө хуваарь дахь язгуур доорх тоо нь хязгааргүй байгаагаас 7.10 тэгшитгэлд хязгааргүй энгийн нийлбэрээр илэрхийлэгдэж байгаа нь инженерийн тооцоолол явуулахад хүндрэл учруулж байна. Энэ тохиолдолд талбайн температурын тэгшитгэлийг тоон аргачлалаар олох нь илүү хялбар, учир нь өнөөгийн байдалд дээр дурьдсан програмуудаар бодох боломжтой.

Гэвч ихэнх тохиолдолд температурын орны бодолт нь дулааны хүчдэлийг тооцох урьдчилсан нөхцөл болдог бөгөөд ямар ч хязгааргүй энгийн ойролцоо аналитик бодолтыг гаргах шаардлагатай. Дээр дурьдсан нөхцөлтэй холбоотой 7.9 илэрхийлэлийг Fo -ийн бага утгатай (s их утга), Fo -ийн их утга (s бага утга)-тай байх асимптотик цувааны

хэлбэрт шилжүүлбэ. Эндээс Fo –ийн бага утганд $Fo \rightarrow 0$ руу тэмүүлнэ. F –ийн их утганд $Fo \rightarrow \infty$ руу тэмүүлнэ.

Fo –ийн бага утганд (s -ийн их утга) асимптотик бодолт.

Fo - н бага утгад (s их утганд) нүүрсний эгэл хэсгийн халалтын эхний үед s параметрийн их утгын мужид $F_L(R,s)$ (шилжилтийн функц)-р илэрхийлнэ. $F_L(R,s)$ - г цуваа хэлбэрт бичье.

$$F_L(R, s) \cong \psi_1(R, s) \frac{\exp(-\sqrt{s})}{\sqrt{s}} + \psi_2(R, s) \frac{\exp(-2\sqrt{s})}{s} + \dots, \quad (7.11)$$

Үндсэн тэгшитгэл 7.5 дээр 7.11 - г тооцоолон 7.9 - р тэгшитгэлийг тавин цувааны гишүүдийг адил зэрэгтэй болгон тэнцүүлж дараах $\psi_1 \psi_2$ в... гэсэн тэгшитгэлийн системд шилжүүлнэ.

$$R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \psi_1}{\partial R} \right) - s \psi_1 = 0, \quad R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \psi_2}{\partial R} \right) - s \psi_2 = 0 \dots \quad (7.12)$$

7.7, 7.8 - аас харгалзуулан 7.12 - р тэгшитгэлд хязгаарын хоёр нөхцлийг өгвөл:

$$\begin{aligned} \psi_1'|_{R=0} &= 0, \quad \psi_2'|_{R=0} = 0, \dots; \\ \psi_1'|_{R=1} &= \sqrt{s} \exp(\sqrt{s}), \quad \psi_2'|_{R=0} = 0, \dots; \end{aligned}$$

Температурын орны мужид цувааны эхний гишүүдийг тооцоход тэгшитгэл дараах хэлбэртэй бичигдэнэ.

$$\theta_L(R, s) - \frac{\theta_0}{a} \cong 2Ki_L(s) \frac{sh\sqrt{s}R}{\sqrt{s}R} \exp(-\sqrt{s}) + \dots \quad (7.13)$$

Багцлалын теорем ашиглан цувааны эхний гишүүнийг тооцвол тэгшитгэл үндсэн хэлбэрт дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\begin{aligned} \Theta(R, Fo) - \Theta_0 &\cong \frac{1}{R} \int_0^{Fo} Ki(\eta) \times \\ &\times \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi(Fo-\eta)}} \exp \left[-\frac{(1-R)^2}{4(Fo-\eta)} \right] - \frac{1}{\sqrt{\pi(Fo-\eta)}} \exp \left[-\frac{(1+R)^2}{4(Fo-\eta)} \right] \right\} d\eta \end{aligned} \quad (7.14)$$

Давхаргын гадаргатай ойролцоо R утгыг авахад (7.14) тэгшитгэлийг хэд хэдэн хялбарчилгааг хийсний дараа доорхи байдлаар бичигдэнэ.

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \frac{1}{R} \int_0^{Fo} Ki(\eta) \frac{1}{\sqrt{\pi(Fo-\eta)}} \exp \left[-\frac{(1-R)^2}{4(Fo-\eta)} \right] d\eta, \quad (7.15)$$

7.13 - р тэгшитгэл нь бөмбөрцөгийн төвд $\sqrt{s} R \rightarrow 0$ байна. Энэ тохиолдолд тэгшитгэл:

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \frac{1}{R} \int_0^{Fo} Ki(\eta) \frac{1}{\sqrt{\pi(Fo-\eta)^3}} \exp \left[-\frac{1}{4(Fo-\eta)} \right] d\eta, \quad (7.16)$$

7.15, 7.16 илэрхийлэлийн ойролцоо шийдлийг олохын тулд Тейлорын цуваагаар бичвэл:

$$Ki(\eta) \cong Ki(Fo) + (\eta - Fo)Ki'(Fo) + \dots + \frac{\eta - Fo}{n!} Ki^n(Fo), \quad (7.17)$$

Fo - ийн бага утгатай байх цувааны эхний гишүүдийг тооцон нэгжгүй температурын хэлбэрт тэгшитгэлийг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$\begin{aligned} \theta(R, Fo) - \theta_0 &\cong \frac{2}{\sqrt{\pi R}} Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)] \times \\ &\times \left[\sqrt{Fo} \Phi_1(R, Fo) + \frac{1-R}{2} \sqrt{\pi} \Phi_2(R, Fo) \right] + \dots, \end{aligned} \quad (7.18)$$

энд:

$$\Phi_1 = \exp \left[-\frac{(1-R)^2}{4Fo} \right]; \quad \Phi_2 = \operatorname{erfc} \left(\frac{1-R}{2\sqrt{Fo}} \right)$$

Дээрхи харьцаанаас гадаргын температур дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\begin{aligned} &[\theta(1, Fo) - \theta_0] \\ &[1 - \theta^4(1, Fo) + \frac{Bi}{Sk} [1 - \theta(1, Fo)]]^{-1} \cong 2Sk\sqrt{Fo} \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} + \frac{\sqrt{Fo}}{3} + \dots \right), \end{aligned} \quad (7.19)$$

Төвийн симметрийн ойролцоох бодолт нь дараах байдалтай бичигдэнэ.

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong 2\{Sk [1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)]\} \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{Fo}}, \quad (7.20)$$

Fo - ийн тооны их утганд (s-ийн бага утга) асимптотик бодолт.

Энэ тохиолдолд шилжилтийн функц $F_L(R, s)$, 7.9 илэрхийлэлийн s-ийн бага параметрээр дараах цуваа хэлбэрт бичигдэнэ.

$$F_L(R, s) \cong \varphi_0(R, s) + s\varphi_1(R, s) + s^2\varphi_2(R, s) + \dots, \quad (7.21)$$

3.21 -ийг тооцож 3.9 тэгшитгэлийг 3.5 тэгшитгэлд тавьснаар илэрхийлэлийн гишүүдийг адил s зэрэгт тэнцүүлснээр $\varphi_0\varphi_1\varphi_2$ - ийг олохын тулд доорх тэгшитгэлийн системийг гаргана.

$$\frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_0}{\partial R} \right) = 0, \quad R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_1}{\partial R} \right) = \varphi_0, \quad R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial R} \right) = \varphi_1, \quad (7.22)$$

7.22 - р тэгшитгэлээс интеграл авахад шаардагдах эхний тэнцэтгэлийг 3.8-с тодорхойлно.

$$\varphi_0'|_{R=0} = 0, \quad \varphi_1'|_{R=0} = 0, \quad \varphi_2'|_{R=0} = 0, \quad (7.23)$$

Энд штрих тэмдэглэгээ нь координатын уламжлалын тэмдэгийг илэрхийлнэ.

Хоёрдахь интегралын харьцаанаас:

$$\begin{aligned} &\int_0^1 \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_0}{\partial R} \right) dR = 0, \\ &\int_0^1 \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_1}{\partial R} \right) dR = \int_0^1 R^2 \varphi_0 dR, \quad \int_0^1 \frac{\partial}{\partial R} \left(R^2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial R} \right) dR = \int_0^1 R^2 \varphi_1 dR, \end{aligned} \quad (7.24)$$

$\varphi_0\varphi_1\varphi_2$ -г олсон тохиолдолд 7.5-7.8 гэсэн үндсэн тэгшитгэлийн байрлалд 7.9-р илэрхийлэлийн мужаас шилжих болно. Эхний гурван гишүүнийг тооцсоноор температурын функцийг бодолтын үр дүнд дараах хэлбэрт шилжинэ.

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong 3 \int_0^{Fo} Ki(Fo) dFo + Ki(Fo) \frac{5R^2-3}{10} + Ki'(Fo) \frac{1}{20} \left(\frac{R^4}{2} - R^2 + \frac{27}{70} \right) + \dots, \quad (7.25)$$

7.25 - р тэгшитгэлийн эхний 2 гишүүнийг ашигласнаар Вольторын II эрэмбийн шугаман бус интегралаас гадаргын температурыг (R=1) тодорхойлно.

$$\theta(1, Fo) - \theta_0 \cong 3 \int_0^{Fo} \{Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)]\} dFo + \frac{1}{5} \{Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)]\}, \quad (7.26)$$

7.26 илэрхийлэлийн бодолт нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$3SkFo = f_0 \left[\theta(1, Fo), Sk, \frac{Bi}{Sk} \right] - f_0 \left[\theta^*, Sk, \frac{Bi}{Sk} \right], \quad (7.27)$$

энд:

$$\begin{aligned} f_0(Sk, p) = & -\frac{Sk}{5} \ln|1 - \theta^4 + p(1 - \theta)| + C_1 \{C_1^{1/2} \ln \frac{C_2}{C_3} + (p + C_1^{3/2})(|C_1 C_4|)^{-1/2} \ln \frac{C_5}{C_6} \\ & - 2(p - C_1^{3/2})(|C_1 C_7|)^{-1/2} \arctg \frac{2\theta - C_1^{1/2}}{(C_1 C_7)^{1/2}}\} (p^2 + C_1^2)^{-1} \\ C_1 = & \left\{ \frac{p^2}{4} + \left[\frac{p^4}{4} + \left(4 \frac{1+p}{3} \right)^3 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} + \left\{ \frac{p^2}{4} - \left[\frac{p^4}{4} + \left(4 \frac{1+p}{3} \right)^3 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}; \\ C_2 = & C_1^{1/2} \left[2\theta \left(\theta + C_1^{1/2} \right) + C_1 - p \right] \left(C_1^{3/2} + p \right)^{-1}; \quad C_3 = C_1^{1/2} \left[2\theta \left(\theta + C_1^{1/2} \right) + C_1 + p \right] \times \\ & \times \left(C_1^{3/2} + p \right)^{-1}; \quad C_4 = 2p \left(C_1^{-1/2} - C_1 \right); \quad C_5 = 2 \left(\theta + C_1^{1/2} - C_4 \right)^{1/2} \left(C_1^{1/2} - C_4^{-1/2} \right)^{-1}; \\ C_6 = & -2 \left(\theta + C_1^{1/2} + C_7 \right)^{1/2} \left(C_1^{1/2} + C_7 \right)^{-1}; \quad C_7 = -2p \left(C_1^{1/2} + C_1 \right); \quad p = \frac{Bi}{Sk} \end{aligned}$$

$\theta^* - \theta_0 \cong \frac{1}{5} [(1 - \theta^*)^4 + p(1 - \theta^*)]$ —гэсэн харьцаанаас θ^* -г олъё.

4-р эрэмбийн алгебрын тэгшитгэлийн бодолтын дүнд дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\theta^* = -\frac{1}{2} (2C_8)^{1/2} + \left[(2 + 3Sk^{-1} + p)(8C_8)^{-1/2} - \frac{1}{2} C_8 \right]^{1/2}, \quad (7.28)$$

энд:

$$C_8 = (A + B)^{1/3} + (A - B)^{1/3};$$

$$A = \frac{1}{4} \left(\frac{5}{Sk} + p \right)^2; \quad B = \left\{ \left[\frac{1}{4} \left(\frac{5}{Sk} + p \right) \right]^4 + \left[\frac{1}{3} Sk^{-1} \left(\frac{5\theta_0}{Sk} + p \right) + \frac{1}{3} \right]^3 \right\}^{1/3}$$

Гадаргын температурыг мэдсэний үндсэн дээр нүүрсний жижиг хэсгийн дурын огтлол дахь температурыг тодорхойлж болно.

$$\theta(R, Fo) \cong \theta(1, Fo) + \{Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] + Bi[1 - \theta(1, Fo)]\} \frac{(R^2-1)^2}{2} + \dots, \quad (7.29)$$

Цувааны хэсэгчилсэн бодолт.

1. Нүүрсний эгэл хэсэг дэх дулааны цацаргалтын горимд Fo-ийн бага тооны хувьд:

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \frac{2 Sk [1 - \theta^4(1, Fo)]}{R \sqrt{\pi R}} \left[\sqrt{Fo} \Phi_1(R, Fo) - \frac{1-R}{2} \sqrt{\pi} \Phi_2(R, Fo) \right], \quad (7.30)$$

Энд нүүрсний гадаргын температурыг доорхи тэгшитгэлээр тооцоолдог.

$$[\theta(1, Fo) - \theta_0][1 - \theta^4(1, Fo)]^{-1} \cong 2Sk\sqrt{Fo} \left(\frac{1}{\pi} + \frac{\sqrt{Fo}}{3} + \dots \right), \quad (7.31)$$

Fo-ийн их утганд:

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \theta(1, Fo) + Sk[1 - \theta^4(1, Fo)] \frac{(R^2 - 1)}{2}, \quad (7.32)$$

Энд гадаргын температурыг дараах томъёогоор олно.

$$3SkFo = f_1[\theta(1, Fo)] - f_1(\theta^*), \quad (7.33)$$

энд:

$$f_1(\theta) = -\frac{Sk}{3} \ln(1 - \theta^4) + \frac{1}{4} \ln \frac{1 + \theta}{1 - \theta} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \theta.$$

2. Шугаман бус хязгаарын нөхцөл нь 3.7-г голдуу аддитивности дүрмээр дулаан өгөлтийн идвэхитэй коэффициент оруулан шугаман болгодог.

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha_{\text{луч}} + \alpha_{\text{кон}}$$

Энэ тохиолдолд тооцооны хамаарлууд дараах байдалтай бичигдэнэ. Fo-ийн бага утганд:

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \frac{2 Bi_{\text{эф}} [1 - \theta^4(1, Fo)]}{R \sqrt{\pi}} \left[\sqrt{Fo} \Phi_1(R, Fo) - \frac{1-R}{2} \sqrt{\pi} \Phi_2(R, Fo) \right], \quad (7.34)$$

энд:

$$\theta(R, Fo) \cong \frac{\sqrt{\pi} \theta_0 + 2 Bi_{\text{эф}} \sqrt{Fo}}{\sqrt{\pi} + 2 Bi_{\text{эф}} \sqrt{Fo}}$$

Fo-ийн их утганд:

$$\theta(R, Fo) - \theta_0 \cong \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{Bi_{\text{эф}}} - R^2 \right) \left(\frac{1}{Bi_{\text{эф}}} + \frac{1}{5} \right)^{-1} \exp[-D(Bi_{\text{эф}})Fo], \quad (7.35)$$

энд:

$$D(Bi_{\text{эф}}) = 3 \left(\frac{1}{Bi_{\text{эф}}} + \frac{1}{5} \right)^{-1}; \quad D(Bi_{\text{эф}}) = \frac{\alpha_{\text{эф}} r_0}{\lambda};$$

3. Маш нимгэн биеийн нөхцөлд ($Bi < 0.5$, $Sk < 0.25$) тооцон дараах хамаарлыг гаргана.

$$3 Sk Fo = f_2[\bar{\theta}(1, Fo)] - f_2(\theta_0), \quad (7.36)$$

энд: $f_2(\bar{\theta}) = A \ln(1 - \theta) - B \ln(\theta - b_1) - \frac{1}{2} (A - B) \ln(\theta^2 - \sqrt{2\alpha_0} \theta + b_2) -$

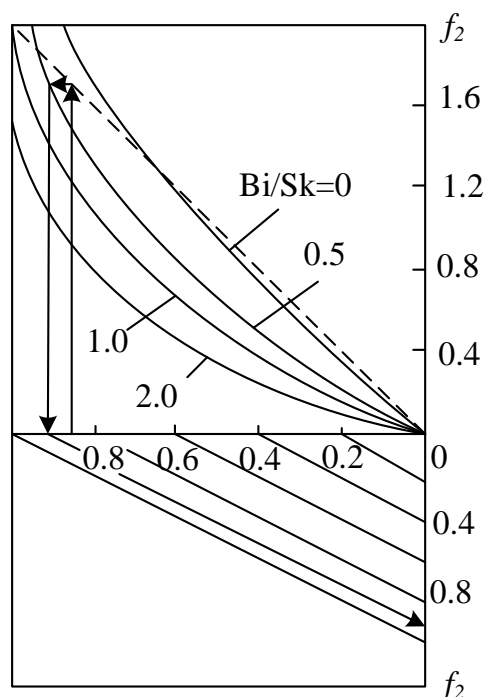
$$-\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\alpha_1 + \alpha_0}} \left[\frac{\sqrt{2\alpha_0}}{2} (A - B) + \frac{1}{b_1} - b_2 \left(A - \frac{1}{b_1} B \right) \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2}\theta - \sqrt{\alpha_0}}{\sqrt{\alpha_1 + \alpha_0}} \right];$$

$$A = [(1 - b_1)(1 - \sqrt{2\alpha_0} + b_2)] ; B = b_1[(1 - b_1)(b_1^2 - \sqrt{2\alpha_0} + b_2)]^{-1};$$

$$\alpha_0 = \left[\frac{p^2}{16} + \left(\frac{p^4}{256} - \frac{q^3}{27} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} + \left[\frac{p^2}{16} - \left(\frac{p^4}{256} - \frac{q^3}{27} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$p = \frac{Bi}{Sk}; \quad q = -(1+p); \quad \alpha_1 = \frac{p}{\sqrt{2\alpha_0}}; \quad b_1 = \alpha_0 - \frac{\alpha_1}{2}; \quad b_2 = \alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2} .$$

Доор үзүүлсэн 7.2-р зургийн номограмаас f_2 функцийг экспресс тооцооллыг гаргаж авна.



Зураг 7.2. θ ба $\frac{Bi}{Sk}$ параметрийн хамаарлаас f_2 функцыг тодорхойлох номограмм.

Сумтай шугмаар f_2 -ийн тооцооллын жишээг үзүүлсэн бөгөөд үүнд: $\Theta=0.828$ болон $\frac{Bi}{Sk}=0,5$ тохиолдолд $f_2=0,833$ болж байна.

7.2.2. Нүүрсний эгэл хэсэг дэх стационар бус орон дахь дулааны уян харимхайн хүчдэл

Температурын орны бодолт нь дулааны хүчдлийг тодорхойлох тооцооллын хамаарлыг гарган авах боломжыг олгодог. Энэ нь нүүрсний эгэл (жижиг) хэсгийн шаталтын процессыг хурдасгах ба түүний эвдрэлийг үнэлэх үндсэн тооцоо болдог. Паркусын явуулсан туршилтаар [59], нүүрсний эгэл хэсгийг халаах шатанд хугацаанаас хамаарсан температурын өөрчлөлт нь удаан үргэлжилдэг бөгөөд энэ процессыг зарим нэг тэнцвэрт байдлын дараалал маягаар авч үзэж болно. Иймд хугацаа болон квазистатик аргачлал нь уг бодлогод зарим параметрийн үүргийг гүйцэтгэдэг.

Нүүрсний эгэл хэсгийг нил бөмбөрцөг гэж үзэж болно. Энэ бөмбөрцөг нь чөлөөтэй хэлбэр дүрсийн гажилтанд орно, гэж үзье.

$\theta(R, Fo)$ температурын орны хувьд симметр төвийг агуулдаг бөгөөд түүнд үүсч байгаа хүчдэлийг дараах байдлаар бичье.

$$\sigma_{rr} = \frac{2E\beta[\theta(1, Fo) - \theta(R, Fo)]}{3(1-\mu)}, \quad (7.37)$$

$$\sigma_{rr} = \frac{E\beta}{3\mu} [2\bar{\theta}(1, Fo) + \bar{\theta}(R, Fo)] - 3\theta(R, Fo), \quad (7.38)$$

энд:

$$\bar{\theta}(R, Fo) = \frac{3}{R^3} \int_0^R R^2 \theta(R, Fo) dR; \quad \bar{\theta}(1, Fo) = 3 \int_0^1 R^2 \theta(R, Fo) dR;$$

Ямар ч материал нь агшилтаасаа илүү тэлэлт нь муу эсэргүүцэлтэй байдаг. Үүнд мөн нүүрсний эгэл жижиг хэсэг ч хамаарна. Халаалтын үед хамгийн их суналтын хүчдэл нь бөмбөрцөгийн төвд үүсдэг бөгөөд ($R=0$) дараах илэрхийлэлээр бичигдэнэ.

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{max} = \sigma_{\eta\eta}^{max} = \frac{2E\beta}{3(1-\mu)} [\bar{\theta}(1, Fo) - \theta(0, Fo)], \quad (7.39)$$

Үүний үр дүнд хамгийн их хүчдэлийн харьцааг дараах тооцоололоор гаргаж авна:
Fo-ийн бага тоон утганд

$$\begin{aligned} \sigma_{max} = & -\frac{2E\beta}{3(1-\mu)} [Sk(1 - \theta^4(1, Fo)) + Bi(1 - \theta(1, Fo))] \frac{1}{\pi^{1/2}} \times \\ & \times \left\{ \frac{1}{2} - 6Fo \left[2Fo^{\frac{1}{2}} \left(\exp\left(-\frac{1}{4Fo-1}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2Fo^{\frac{1}{2}}}\right) \right) \right] \right\} - \\ & - \{8Fo^{\frac{3}{2}} - (2Fo^{\frac{1}{2}} [(8Fo-1) + \pi^{\frac{1}{2}} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2Fo^{\frac{1}{2}}}\right) \exp\left(\frac{1}{4Fo}\right) (6Fo-1)] \times \\ & \times \left(2\exp\frac{1}{4Fo} \right)^{-1} \pi^{\frac{1}{2}} - 2\operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2Fo^{\frac{1}{2}}}\right) \}; \end{aligned} \quad (7.40a)$$

Fo-ийн их тоон утганд:

$$\sigma_{max} = \frac{E\beta}{3(1-\mu)} [Sk(1 - \theta^4(1, Fo)) + Bi(1 - \theta(1, Fo))], \quad (7.40b)$$

Судалгааны тооцоо.

Ажлын үр дүнд гарган авах ойролцоо аналитик томъёог $Bi=Const$ үеийн конвекцийн хязгаарын нөхцөл дэх шугаман хязгаарын бодлогыг тодорхой шийдтэй бодолттой харьцуулья. Дараах нэгжгүй параметруудийн тоон утгууд нь $Bi=0.8$; $\theta_0 = 0.2$ байна. Шивээ-Овоогийн нүүрс нь хүрэн нүүрсний Б2 ангилалд хамаардаг бөгөөд харамсалтай нь энэ орд газрын иж бүрэн туршилтанд шаардлагатай дулааны физикийн бүрэн үзүүлэлтийг өнөөг хүртэл гарган аваагүй байна. Туршилтын тооцололыг

10^{-2} м хэмжээтэй жижиг хэсэг дээр хийсэн. Шивээ-Овоогийн нүүрсний физик утгуудыг дор үзүүлэв.

$\lambda = 0.245$ Вт/(м * К), $a=1.63 \cdot 10^{-7}$ м²/с, $\rho=1.23 \cdot 10^3$ кг/м³, $c=1.22$ кДж/(кг*К), $\mu=0.387$, $\beta=10^{-5}$ К⁻¹

Харьцуулсан тооцооны үр дүнг дараах хүснэгт 7.1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 7.1

Fo-ийн бага утгын үе дэх гадаргын харьцангуй температурын янз бүрийн утганд нэгжгүй хугацааны тооцооны харьцуулсан үр дүнгүүд

Нэгжгүй хугацаа	Тооцооны арга	Тооцооны утга $\theta(1, Fo)$			
		0.212	0.2158	0.2230	0.2515
Fo	(7.31)	0.00028	0.0005	0.0011	0.0058
	[122]	0.0003	0.0005	0.001	0.005

Хүснэгт 7.2

Fo-ийн их утгын үе дэх нэгжгүй хугацааны янз бүрийн утганд төвийн ба гадаргын харьцангуй температурын тооцооны харьцуулсан үр дүнгүүд

Харьцангуй температур	Тооцооны арга	Тооцооны утга Fo			
		0,3	0,7	1,3	2,5
$\theta(0, Fo)$	(7.32)	0,474	0,769	0,933	0,994
	[59]	0,471	0,767	0,932	0,994
$\theta(1, Fo)$	(7.32)	0,624	0,835	0,952	0,996
	[59]	0,634	0,839	0,953	0,996

Хүснэгт 7.3

Нүүрсний эгэл хэсгийн конвектив халаалтын үед тодорхой шийдтэй дулааны хүчдэлийн хамаарлын харьцуулсан үзүүлэлт

Дулааны хүчдэл	Тооцооны арга	Гобага утга	Fo их утга
$\sigma_{\eta\eta}^*, R = 0.5$	(7.34)	0.01965	0.1354
	[62, 63]	0.02122	0.1484
$\sigma_{\varphi\varphi}^*, R = 0.5$	(7.35)	0.01963	0.0903
	[62, 63]	0.2122	0.0961
σ_{max}^*	(7.37)	0.4196	-
	(7.38)	-	0.1805
	[62, 63]	0.4452	0.2017

Тэмдэглэгээ:

$$\sigma_{rr}^* = \sigma_{rr} \frac{3(1-\mu)}{2E\beta}, \sigma_{\varphi\varphi}^* = \sigma_{\varphi\varphi} \frac{3(1-\mu)}{2E\beta}, \sigma_{max}^* = \sigma_{max} \frac{3(1-\mu)}{2E\beta}$$

Явуулсан ажлын үр дүнгээс үзэхэд Шивээ-Овоогийн 100 мкм хэмжээтэй нүүрсний жижиг хэсгийн температурын хүчдэл нь 1500 °С –н температуртай хийн орчинд тэлэлтэн дээрхи бат бэхийн хязгаараас хэтэрдэггүй бөгөөд өөрийн нягтралаа алддаггүй. 10 мм

болон түүнээс дээш хэмжээтэй нүүрсний хэсэгт 1000°C температур хүрэхэд эвдэрдэг. Ингэхдээ эвдрэх агшин нь халаалтын эхний шатанд бий болдог.

7.3. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессын математик загварчлал

7.3.1. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын процессын физик үндэс

Нүүрсний эгэл хэсгүүд асаж дөлжин, улмаар шатах үзэгдлийн өмнө түүний хатаалт явагдана. Түүхий нүүрс, ялангуяа их чийгшилтэй байх үед нунтаглахад, тээрэмд утааны хийгээр хатаах процесс хийгдэх ба уурын генераторын галын хотолд түлшний эгэл хэсгүүд үлдэгдэл чийгтэй орох бөгөөд чийг нь эзлэхүүнээс гадагшилсны дараа шаталт явагдана. Галын хотолын камерт эгэл хэсгүүд конвектив – цацрагын үйлчлэлээр илчийн боловсруулалтад орох ба эгэл хэсгүүдийн гадаргуу “чийг – уур”-ын фазын температурт хүрэх үед түлшний хаталтын процесс эхлэнэ [63]. Энэ агшинаас ууршилтын эрчим эгэл хэсгүүдийн гүнд шилжих болно.

Энэ хэсэгт хатаалтын процесс Стефаны шугаман бус бодлогоор илэрхийлэгдэнэ. Ийм байдлаар Б.В.Канторович [62], Г.Н.Делягин [116], К.А.Григорьев [117] гэх мэтийн эрдэмтэд нүүрсний эгэл хэсгүүдийн хатаалтын судалгааг хийсэн байна. Аналитик шийдэлд хүрэхийн тулд зохиогчид чийгийн ууршилтын хөдөлгөөний хязгаарыг тодорхойлоход хэрэглэгддэг “Стационар температурын орны” Л.С.Лейбензоны [119] дөхөлтийн томъёог ашигласан байна. Гэвч уг санаа нь нэмэлт үндэслэл шаардахаар байна. К.А.Григорьевын ажилд [117] тоон арга ашигласан байх боловч, харамсалтай нь параметрийн экспресс анализ хийхэд төвөгтэй юм. Энгийн тохиолдолд зарим судлаачид вариацийн болон интеграл аргуудаар зохих шийдэлд хүрсэн байдаг. Үүнд ойролцоо шийдлийн нарийвчлалын үнэлгээ тун чухал. Нүүрсний хатаалтын асуудлыг шийдвэрлэхэд авч үзэж байгаа тохиолдлын гол үндэс нь бидний боловсруулсан илчийн квазистационар дөхөлтийн арга юм [63].

Энэ аргын мөн чанар нь температурын орны квазистационар хэсгээр фазын хувиралтын эрчимийн хөдөлгөөнийг удирдах явдал юм.

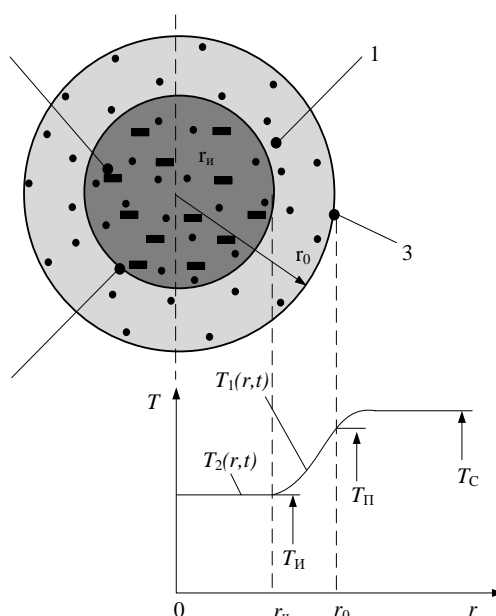
7.3.2. Нүүрсний эгэл хэсгийн хаталтын судалгааны бодлогын тавил

Бөмбөрцөг хэлбэрийн нүүрсний эгэл хэсгүүдийн хатаалтын процессийн ойролцоо тооцооллын томъёо ба түүний параметрийн цаашдын анализ үйлдэл нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэж байна. Фазын шилжилтийн температур хүртэл халсан нүүрсний эгэл хэсгүүд хатаж өндөр температурын хийн орчинд орох ба өөрийн шинж чанараар адилгүй хоёр бүс бий болгоно (зураг 7.3). Гадаад бүс нь бүрэн хатсан нүүрс байх бол дотоод бүс нь үлдэгдэл чийгшил бүхий анхдагч түлш байна. Цаашдаа зуухны галын хотолын эргэн тойрон дахь орон зайгаас түгэх дулаан, эгэл хэсгүүдийн хуурай хэсгийг (1 бүс), анхдагч

чийгшил бүхий түлшний хэсгийг халаахад зарцуулагдах ба хөдөлгөөнт хязгаар дээр шингэн – уурын фазын шилжилт бий болно.

I хэсгийн (халалтын үе шат) үндсэн нөхцөлд нэмэлт болгон доорхи зүйлүүдийг оруулна.

1. Чийгийн ууршилтанд зарцуулагдах дулааны зарцуулалт фазын шилжилтийн хязгаар дээр явагдана.
2. Фазын шилжилтийн температур ба ууршилтын дулаан тогтмол байна.
3. Хатаалтын дараа нүүрсний эгэл хэсэг өөрийн хэлбэр, хэмжээг хадгална.
4. Чийгийн диффузийг үл тооцно.



Зураг 7.3. Нүүрсний эгэл хэсгийн хатаалтын бүдүүвч:

- 1-Хатсан түлшний бүс, 2-Үлдэгдэл чийгшил бүхий түлш, 3-Нүүрсний эгэл хэсгийн анхдагч гадаргуу, 4- Чийгийн ууршилтын гадаргуу

Өгөгдсөн бодлогын тавил нь дараах байдлаар бичигдэнэ.

- а. Хатаагдсан бүсийн энергийн тэгшитгэл (t_n – ээс эхлэх хугацааны заалт):

$$\frac{\partial T_1(r, t)}{\partial t} = a_1 r^{-2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T_1(r, t)}{\partial r} \right],$$

$$t > 0, r_0 < r < r_n, T_1 > T_n, \quad (7.41)$$

- б. Чийглэг нүүрсний бүсийн энергийн тэгшитгэл:

$$\frac{\partial T_2(r, t)}{\partial t} = a_2 r^{-2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial T_2(r, t)}{\partial r} \right], \quad t > 0, 0 < r < r_n, T_2 > T_n, \quad (7.42)$$

эхлэлийн нөхцөлтэй тохиолдолд:

$$T_1(r, 0) = T_n, \quad T_2(r, 0) = \varphi(r), \quad (7.43)$$

хязгаарын нөхцөлтэй тохиолдолд:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r_0, t)}{\partial r} = \alpha_1 [T_1(r_0, t)][T_c - T_1(r_0, t)], \quad (7.44)$$

7.44 гэсэн хязгаарын нөхцөлтэй бөгөөд цацрагын дулааны солилцоо, конвектив дулаан өгөлт, мөн хосолсон дулаан дамжуулалтыг өөртөө хангалттай агуулах болно.

в. Ууршилтын хөдөлгөөнт хязгаар дээрх нөхцөл:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(r_w, t)}{\partial r} - \lambda_2 \frac{\partial T_2(r_w, t)}{\partial r} = -\rho H_w \frac{\partial r_w}{\partial t}, T_1(r_w, t) = T_2(r_w, t) = T_w, \quad (7.45)$$

г. Тэгш хэмийн нөхцөл:

$$\frac{\partial T_2(0, t)}{\partial r} = 0, \quad (7.46)$$

Судалгааны ажлыг нэгтгэн дүгнэхэд зайлшгүй хэмжээсгүй хувьсагч, албадмал шилжилт байх ба масштабын хууд r_0 , T_w -ийг сонгов.

$$K_a \frac{\partial \Theta_1(R, Fo)}{\partial Fo} = R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \frac{\partial \Theta_1(R, Fo)}{\partial R} \right], R_w(Fo) < R < 1, Fo > 0, \quad (7.47)$$

$$\frac{\partial \Theta_2(R, Fo)}{\partial Fo} = R^{-2} \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \frac{\partial \Theta_2(R, Fo)}{\partial R} \right], 0 < R < R_w(Fo), Fo > 0, \quad (7.48)$$

$$\Theta_1(R, 0) = 1, \Theta_2(R) = \varphi_2(R), \quad (7.49)$$

$$\frac{\partial \Theta_1(1, Fo)}{\partial R} = Bi_1 [\Theta_1(1, Fo)] [\Theta_c - \Theta_1(1, Fo)] = Ki(Fo), \quad (7.50)$$

$$\frac{\partial \Theta_1(R_w, Fo)}{\partial R} - K_\lambda \frac{\partial \Theta_2(R_w, Fo)}{\partial R} = -M \frac{dR_w}{dFo}, \quad (7.51)$$

$$\Theta_1(R_w, Fo) = \Theta_2(R_w, Fo) = 1, \quad (7.52)$$

$$\frac{\partial \Theta_2(0, Fo)}{\partial R} = 0, \quad (7.53)$$

эдгээрт:

$$K_a = \frac{a_2}{a_1}; K_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; Fo = \frac{a_2 t}{r_0^2}; M = \frac{H_w}{c_2 T_w}; \theta = \frac{T}{T_w}$$

7.47 - 7.53 бодлого, ууршилтын хөдөлгөөнт хязгаар дээрх температурын градиентийн тасалдал бүхий шугаман бус ангилалд хамаарна. Ерөнхий тохиолдолд эдгээр бодлогод аналитик шийдэл байхгүй. Бодлогын шийдлийн өмнө түүний чанарын дүн шинжилгээ хийгдэнэ.

1. Симплекс K_a нь процессын тогтвортой бусыг харуулна. $K_a \ll 1$ тохиолдолд хатаагдсан бүс дэх дулаан зөөлтийн процессийг стационар гэж үзэж болно. Иймд хүрээлэх хийн орчноос ирэх дулааны тоо хэмжээ нь фазын шилжилтэнд очих дулаантай тэнцүү байх болно. Үүний дүнд 7.47 - 7.53 бодлого ихээхэн хялбарчлагдах ба 1-р бүсийн хатсан үеийн тэгшитгэл 7.47-г бодох шаардлагагүй болно.
2. $K_a \ll 1$ тохиолдолд чийгтэй түлш дэх дулааны зөөлтийг стационар гэж үзэж болох тул ерөнхий бодлогод 2-р бүсийн энергийн тэгшитгэлийг бодох

шаардлагагүй болно. 1-р бүсээс ирэх дулааны урсгал фазын шилжилт явагдахад бүрэн зарцуулагдах болно.

3. Өгөгдсөн нөхцөлд хамгийн боломжтой, нүүрсний ил гадаргуугаас ууршилтад дулааны бүх урсгал очно гэсэн санаагаар авсан хурд бол ууршилтын хурдын масштаб байх юм. Чухамдаа:

$$\left| \frac{d r_{и}}{dt} \right|_{max} \approx \frac{K_i a_2}{M r_0}, \quad (7.54)$$

болно.

Тэгвэл уурших процессийн тодорхой хугацааны хувьд иж бүрдэл үүрэг гүйцэтгэнэ.

$$t_{и} \approx \frac{M r_0^2}{K_i a_2}, \quad (7.55)$$

$\frac{r_0^2}{a^2}$ - харьцаа нь дулааны зөөлтийн процессийн тодорхой хугацаа, дулааны дамжуулалт болох тул $\frac{M}{K_i} = \frac{t_{и}}{t_T}$ иж бүрдэл бол ууршилтын процессийн тодорхой хугацаа ба дулааны өөрчлөлтийг (долгиолсон) тархалтын процессийн харьцаа юм. Практикт $t_{и} \geq t_T$ үргэлж байх болно. Үр дүнд нь хэрвээ $\frac{M}{K_i} \gg 1$ бол хатаалтын процесс “сул” байх юм. Дулааны долгисол эгэл хэсгүүдийн бүх эзэлхүүнийг хамарч чадахгүй байж болох ба ууршилт хагас хязгаарлагдмал хэсэгт явагдаж болно.

4. 7.47 - 7.53 бодлогыг бодоход чийгийн ууршилтын эхлэл ($F_{0_{и}}$)-ийн ба тухайн агшинд эгэл хэсэг дэх температурын тархалтыг тодорхойлох зарчмын асуудал тавигдана. Хэмжээсгүй хугацаа болох $F_{0_{и}}$ эгэл хэсгүүдийн гадаргууд хүрэхэд фазын шилжилтийн температурыг $\Theta_2(F_{0_{и}}) = 1$ гэсэн нөхцөлөөс тодорхойлно. Үүний дүнд $F_{0_{и}} > F_{0_p}$ болох ба эхний үе өнгөрсний дараа хатаалтын агшин эхлэж буйг харуулна. Энд F_0 -ийн олон тооны шийдлийг ашигладаг. Хэрэв $F_{0_{и}} < F_{0_p}$ бол хатаалтын агшин эхний шатанд эхлэнэ. Энэ тохиолдолд F_0 бага тооны шийдлүүдийг ашиглана.

Температурын орны шийдлийн анализ нь хэмжээсгүй дулааны урсгалаар F_0 -ийн олон тооны утгын шийдлийг хэрэглэх хязгаар бол $K_i \leq 2$ тэнцэтгэл буюу дулааны урсгалын буурсан муж болохыг харуулж байна. Хэрэв дулааны урсгал энэхүү тэнцэтгэл захирагдаж байвал фазын шилжилт болох хугацаа ба тухайн агшин дахь температурын тархалтыг олон F_0 -ийн томъёоноос хайх нь чухал байдаг.

Хэрэв $K_i > 2$ буюу эрчтэй дулааны урсгал байх үед хатаалтын эхлэлийн агшин ба температурын орчны функц нь процессийн эхний шатанд харгалзах болно. Иймд дурдагдсан параметруудийг бага тооны F_0 -ны шийдлээс хайх нь чухал юм. Тооцооллын үнэлгээ дараах зүйлийг харуулж байна. Дулаан солилцооны нийлбэр коэффициент 500-1500 Вт/м²·К ба галын хотол доторх температур 1000-2000 К байх 10^{-4} - 10^{-1} м нүүрсний эгэл хэсгүүдийн хэмжээний хувьд хэмжээсгүй дулааны урсгалын утга $K_i \leq 2$ байна.

Тэгвэл олон тооны F_0 температурын шийдлээс ургуулан хатаалт болох агшиныг олж болно.

$$\int_0^{F_{0n}} K_i(F_0) dF_0 + \frac{K_i(F_{0n})}{5} \cong 1 - \Theta_{2(0)}, \quad (7.56)$$

Мөн эгэл хэсгүүдийн хөндлөн огтлолоор температурын тархалтыг

$$\Theta_2(R, F_{0n}) \equiv \varphi_2(R) = 1 + \frac{K_i(F_{0n})}{2}(R^2 - 1), \quad (7.57)$$

тэгшитгэлээр олно.

Цааш нь бидний шийдлийн аргаар [63] олон тооны F_0 -ийн шийдлээс 7.56, 7.57 тэгшитгэлээс F_{0n} , $\varphi_2(R)$ өгөгдсөн үед температурын орны квазистационар асимптотикийг гарган авч болно. Тэгвэл асимптотик задралын хоёр гишүүнийг тооцвол: *И хатаагдсан бүсийн хувьд:*

$$\begin{aligned} \Theta_1(R, F_0) \cong & 1 + \frac{1}{1-R^3} \{3K_a^{-1} \int_0^{F_0} [k_i(F_0) - R_{in}^2 q_1(F_0)] dF_0 + \\ & + \frac{K_i(F_0)}{2} \times [R^2 - \frac{3}{5} + 2R_{in}^3 W(R_{in}, R)] - \frac{R^2 q_1(F_0)}{2} [R^2 - \frac{3}{5} + 2W(R_{in}, R)] \}, \end{aligned} \quad (7.58)$$

Үүнд:

$$W(R_{in}, R) = \frac{1}{R} - \frac{9}{5} \cdot \frac{1 - R_{in}^2}{1 - R_{in}^3}$$

Чийгтэй түлшний бүсийн хувьд:

$$\begin{aligned} \Theta_2(R, F_0) \cong & \frac{1}{R^3} \{3K_\lambda^{-1} \int_0^{F_0} R_{in}^2 [q_1(F_0)] dF_0 + \\ & + 3 \int_0^3 R^2 \varphi_2(R) dR + \frac{K_\lambda^{-1} [q_1(F_0) - V(F_0)]}{2} (R^2 - \frac{3}{5} R_{in}^2) \}, \end{aligned} \quad (7.59)$$

7.58 ба 7.59-д хугацааны тоолол F_{0n} агшингаас эхлэж буйг тэмдэглэх хэрэгтэй. 7.58 ба 7.597 хамааралд ууршилтын хөдөлгөөнт хязгаар дээр хэмжээсгүй дулааны урсгалын 7.51 балансыг R_{in} дараах хэлбэрт ашигласан ба үүнд:

$$q_1(F_0) - K_\lambda q_2(F_0) = V(F_0), \quad (7.60)$$

$$V(F_0) = -M \frac{dR_{in}}{dF_0}$$

$q_2(F_o)$ ба $R_{и}(F_o)$ үл мэдэгдэгчийг (7.58) нөхцлийг хангах 2 тэгшитгэлээс одоохондоо ашиглаагүй (7.52) нөхцлөөр тодорхойлж болно.

$$3K_a^{-1} \int_0^{F_o} [Ki(Fo) - R_{и}^2 q_1(Fo)] dFo = \frac{Ki(Fo)}{2} \times [R_{и}^2 - \frac{3}{5} + 2R_{и}^3 W(R_{и}, R_{и}) + R_{и}^2 q_1(Fo) [\frac{R_{и}^2}{5} + W(R_{и}, R_{и})]], \quad (7.61)$$

ҮҮНД:

$$W(R_{и}, R_{и}) = \frac{1}{R_{и}} - \frac{9}{5} \frac{1-R_{и}^2}{1-R_{и}^3},$$

$$R_{и}^3(Fo) = 3 \int_0^{F_o} R_{и}^2(Fo) q_2(Fo) dFo + 3 \int_0^{R_{и}} R^2 \varphi_2(R) dR + \frac{R_{и}^2(Fo) q_2(Fo)}{5}, \quad (7.62)$$

7.62 тэгшитгэлийг бодсоноор дараах илэрхийлэл гарна.

$$q_2(Fo) = q_2(0) R_{и}^{-4} \exp(-15 \int_0^{F_o} \frac{dFo}{R_{и}^2(Fo)}), \quad (7.63)$$

ҮҮНД: $q_2(0) = K_i(F_{oи})$

$q_2(F_o)$ -ийн илэрхийллийг ашиглан 7.62 тэгшитгэлээр ууршилтын хязгаарын хөдөлгөөний хуулийг $R_{и}$ олох тэгшитгэл гарган авч болно.

$$3K_a^{-1} \int_0^{F_o} [Ki(Fo) - R_{и}^2 (K_{\lambda} q_2(Fo) + V(Fo))] dFo = \frac{Ki(Fo)}{10} \alpha(R_{и}) + \frac{K_{\lambda} q_2(Fo) + V(Fo)}{10} \beta(R_{и}) \quad (7.64)$$

ҮҮНД:

$$\alpha(R_{и}) = 3 - 5[R_{и}^2 + 2R_{и}^3(F_o)W(R_{и}, R_{и})]; \quad \beta(R_{и}) = 2R_{и}^2[R_{и}^2 + 5W(R_{и}, R_{и})].$$

7.64 гэсэн хангалттай нийлмэл тэгшитгэлийг Вольтерийн II төрлийн илүү энгийн интеграл тэгшитгэлд хувиргаж болох ба үүний тулд $R = R_{и}$ үе дэх энергийн тэгшитгэлд 7.48, 7.58 шийдлийг хангах нэмэлт холбоог олно.

$$\frac{3K_a^{-1}}{1-R_{и}^3} [Ki(Fo) - R_{и}^2 q_1(Fo)] = -q_1(Fo) R_{и}(Fo), \quad (7.65)$$

Ийм хувиргалт нь эцсийн дүнд ойролцоо шийдэл гаргах ба тэдгээр тестлэх үед хангалттай инженерийн нарийвчлалыг хангах тул боломжтой юм. 7.65 ба 7.60-ыг ашиглан $V(F_o)$ -д харьцангуйгаар квадрат тэгшитгэл гарган авна.

$$\frac{b(R_{и})}{M} V^2(Fo) + c(R_{и}) V(Fo) - d(R_{и}) = 0, \quad (7.66)$$

ҮҮНД:

$$b(R_{и}) = 1 - R_{и}^3; \quad c(R_{и}) = 3K_a^{-1} R_{и}^2 + M^{-1} (1 - R_{и}^2) K_{\lambda} q_2(F_o);$$

$$d(R_{и}) = 3K_a^{-1} K_i(Fo) - 3K_a^{-1} K_{\lambda} R_{и}^2 q_2(Fo)$$

Үүгээр хатаалтын динамикийг бичих үндсэн тэгшитгэлийг 7.64 гарган авч байна. Эл тэгшитгэл гадаад дулааны солилцооны янз бүрийн нөхцөлд хэрэглэнэ. Цааш нь эгэл

хэсгүүдийн орон зайд дулаан зөөгдөх практикт чухал тохиолдлын хувьд үр дүнгийн тооцооны харьцааг гарган авах процедурыг харуулъя.

Конвектив дулаан солилцооны үе дэх хатаалт.

Хатуу биетийн цацрагын конвектив халалтын талаар бичигдсэн ихэнх ажлуудад нийлмэл дулаан дамжуулалтын дулаан өгөлтийн зарим үр ашигтай коэффициент бүхий Ньютоны хуульд хамтарсан цацрагт ба конвекцийн мэдээллийг хамааруулсан байна. Энэ бүдүүвчийг дор ашиглах тул хязгаарийн нөхцөл 7.50 стандарт хэлбэрт орно.

$$\left. \frac{\partial \Theta_1}{\partial R} \right|_{\Pi} = Bi_1 (\Theta_c - \Theta_{\Pi 1}(Fo)) \equiv Ki(\Theta_{\Pi 1}), \quad (7.67)$$

7.58, 7.67 тэгшитгэлийг оролцуулсан гадаргуугийн урсгалыг $K_i(\Theta_{\Pi 1})$ илэрхийлбэл:

$$Ki(\Theta_{\Pi 1}) = \frac{\Theta_c - 1}{D(R_{\Pi})} - [V(Fo) + K_{\lambda} q_2(Fo)] E(R_{\Pi}), \quad (7.68)$$

ҮҮНД:

$$D(R_{\Pi}) = \frac{1}{Bi_1} - \frac{A(R_{\Pi})}{2}; \quad A(R_{\Pi}) = \frac{2R_{\Pi}^3 - 3R_{\Pi}^2 + 1}{1 - R_{\Pi}^3}; \quad E(R_{\Pi}) = \frac{B(R_{\Pi})}{2A(R_{\Pi})}; \quad B(R_{\Pi}) = (R_{\Pi}) \frac{R_{\Pi}^3 - 3R_{\Pi} + 1}{1 - R_{\Pi}^3}$$

7.64 ба 7.68 хамаарлыг ашиглан хатаалтын процессын тэгшитгэлийг гарган авна.

$$\begin{aligned} 3K_a^{-1} \int_0^{Fo} \left[\frac{\Theta_c - 1}{D(R_{\Pi})} - (V(Fo) + K_{\lambda} q_1(Fo))(E(R_{\Pi}) + R_{\Pi}^2) \right] dFo = \frac{1}{10} [\alpha_{\Pi}(R) \frac{\Theta_c - 1}{D(R_{\Pi})} + \\ + (V(Fo) + V(Fo) + K_{\lambda} q_2(Fo))(\beta(R_{\Pi}) - \\ \alpha(R_{\Pi})E(R_{\Pi}))], \end{aligned} \quad (7.69)$$

7.69 - ийн шийдэл дараах илэрхийлэл болно.

$$\tilde{m}Fo = I_L + \sum_{j=1}^2 I_j + \sum_{k=1}^2 P_k, \quad (7.70)$$

ҮҮНД:

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{1 - R_{\Pi}^3}{3} \left[\frac{1}{Bi_1} - \frac{A(R_{\Pi})}{2} \right]; \quad I_1(R_{\Pi}) = \frac{\tilde{m} K_a}{30} D(R_{\Pi}) \Phi(R_{\Pi}) \\ I_2(R_{\Pi}) &= \frac{\tilde{m} K_a}{30} \int_0^{R_{\Pi}} \frac{B(R_{\Pi})}{1 - R^3} \Phi(R_{\Pi}) dR; \quad P_1(R_{\Pi}) \\ &= \frac{\tilde{m} K_a K_{\lambda}}{30} [\beta(R_{\Pi}) - \alpha(R_{\Pi})E(R_{\Pi})] D(R_{\Pi}) q_2(Fo) \\ P_2(R_{\Pi}) &= \frac{\tilde{m} K_a K_{\lambda}}{10} \int_0^{R_{\Pi}} q_2(R) \frac{B(R_{\Pi})}{1 - R^3} [\beta(R_{\Pi}) - \alpha(R_{\Pi})E(R_{\Pi})] dR \\ P_3(R_{\Pi}) &= \tilde{m} K_{\lambda} \int_0^{Fo} q_2(Fo) D(R_{\Pi}) [E(R_{\Pi}) + R_{\Pi}^2] dFo; \quad \tilde{m} = \frac{\Theta_c - 1}{M} \\ \Phi(R_{\Pi}) &= \frac{\alpha(R_{\Pi})}{D(R_{\Pi})} + [\beta(R_{\Pi}) - \alpha(R_{\Pi})E(R_{\Pi})] V(R_{\Pi}) \end{aligned}$$

Энэхүү шийдлийн 7.70 бүтцийн тухайд тэмдэглэхэд эхний гишүүн $I_L(R_u)$ бол эгэл хэсгүүдийг хатаах үед хоёр бүсийн дулаан багтаамжийг үл хэрэгссэн нөхцөлд Лейбензоны [119] аргаар авсан нь тохиромжтой байна. $\sum_{j=1}^2 I_j$ нийлбэр нь үзэгдлийн физикийн үүднээс эгэл хэсгүүдийн хуурай бүсийн халалтыг тооцож байгаа болно. $\sum_{k=1}^3 P_k$ -үлдэгдэл чийгшилтэй анхдагч түлшний халалт. V функц нь чийгийг ууршуулахад зарцуулагдах дулааны хэсгийг тодорхойлно. Уг хэсэг нь 7.68-ыг тооцож 7.66 тэгшитгэлийн эерэг язгуураар тодорхойлогдоно.

$$V(R_u) = \frac{f(R_u)}{2\tilde{m}(1-R_u^3)} \left[-1 \sqrt{1 + \frac{4\tilde{m}(1-R_u^3)e(R_u)}{f^2(R_u)}} \right], \quad (7.71)$$

үүнд:

$$f(R_u) = 3K_a^{-1}[E(R_u) + R_u^2] + \tilde{m}(1 - R_u^3)K_{\lambda q_2}(Fo)$$

$$e(R_u) = 3K_a^{-1} = \left[\frac{1}{D(R_u) - K_{\lambda q_2}(Fo)(E(R_u) + R_u^2)} \right]$$

Анхдагч түлшний халаалтад зарцуулагдаж байгаа дулааны урсгал 7.63 илэрхийллээр тодорхойлогдоно. Ууршилтын хязгаарийн хөдөлгөөний хууль (R_u) тогтоогдсон бол хоёр тодорхой бүсэд температурын тархалтын тооцоог доорхи харьцаагаар тодорхойлно.

$$\begin{aligned} & \frac{\Theta_1(R, Fo) - I}{\Theta_c - I} = \\ & = \frac{I}{2(1-R_u^2)} \left\{ \frac{I}{D(R_u)} (R^2 - R_u^2 + 2R_u^3 \Delta W(R, R_u) - (V(R_u) - K_{\lambda q_2}(Fo)) [E(R_u) \cdot \right. \\ & \quad \left. (R^2 - R_u^2 + 2R_u^3 \Delta W(R, R_u)) + (R^2 - R_u^2 + 2W(R, R_u))] \right\}, \quad (7.72) \end{aligned}$$

үүнд:

$$\begin{aligned} & \Delta W(R, R_u) + \frac{R_u - R}{R_u R} \\ & \frac{\Theta_2(R, Fo) - 1}{\Theta_c - 1} = \frac{K_{\lambda q_2}(Fo)}{2R_u} (R^2 - R_u^2), \quad (7.73) \end{aligned}$$

Тодорхойлогч параметруудийн зарим хязгаарын утгуудын хувьд 7.72-ын шийдлийг хялбарчилбал:

1. Нүүрсний эгэл хэсгүүдийн бүрэн халаалтын хугацааг дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$\tilde{m}Fo_k = I_L(0) + \sum_{j=1}^2 I_j(0) + \sum_{k=1}^3 P_k(0) \quad (7.74)$$

2. Ууршилтын хэмжээсгүй параметрийн $\tilde{m} \ll 1$ утганд 7.72 тэгшитгэл Л.С.Лейбензоны аргаар бодогдоно [118].

$$\tilde{m}Fo + I_L = \frac{1-R_u^3}{3} \left[\frac{1}{Bi_1} - \frac{A(R_u)}{2} \right]; \quad (7.75)$$

3. $K_a \ll 1$ тохиолдолд:

$$Fo_2 = \frac{1}{3} \frac{M}{Bi_2(\Theta_c-1)} (1 - R_u^3) + \frac{1}{15} (1 - \exp[-15\psi(Fo)]); \quad (7.76)$$

7.76-д бүх параметрууд чийгтэй нүүрсний дулаан физикийн шинж чанараар тодорхойлогдоно (2-р бүс).

4. $K_a \gg 1$ тохиолдолд анхдагч түлшний бүх эзэлхүүнд (2-р бүс) чийг нь ууршилтын температурт хүрнэ.

$$\tilde{m}Fo_1 = I_L(R_u) + I_1(R_u) + I_2(R_u) \quad (7.77)$$

Дээрх тэгшитгэлд хэмжээсгүй бүх параметрууд хуурай мужийн (1-р бүс) дулааны физикийн шинж чанараар тодорхойлогдоно. 7.77 илэрхийллийг дахин хялбарчилж болох ба нэг талаас I_1 ба I_2 дэх олон нэмэгдэхүүнүүд бага жинтэй нөгөө талаас I_1, I_2 -д бичигдэх ижил гишүүд нь өөр өөр тэмдэгтэй байгаа нь хялбарчилах үндэс болно. Иймд дурдсан хялбарчилгааг хийснээр 7.77-г хамгийн энгийн хэлбэрт бичвэл

$$\tilde{m}Fo_1 = I_L(R_u) + \frac{\tilde{m}}{30} \alpha(R_u) \quad (7.78)$$

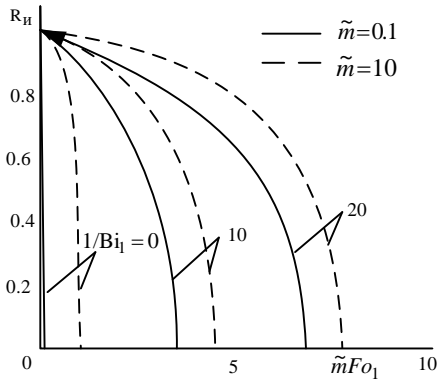
Чийгтэй нүүрсний горимын параметруудийн бодит утгуудаар $\tilde{m} = 0.1$, $R_u = 0$, $Bi_1 = 2$ хийсэн тодорхой тооцоо нь $\tilde{m}Fo$ параметрийн тоон утгууд 7.77 тэгшитгэлээр тооцоход 0.677, 7.78-р тэгшитгэлээр тооцоход 0.646, болох бөгөөд алдаа нь 4.8%-иас ихгүй байна.

7.3.3. Хаталтын процессын тооцооны үр дүнгийн томъёо ба график

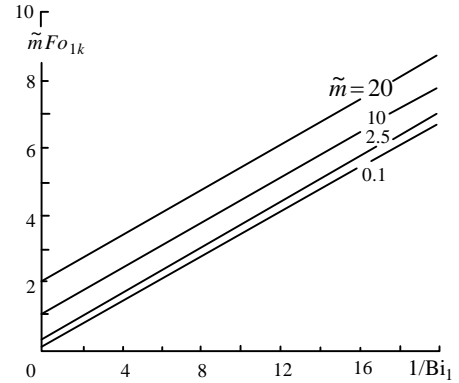
1. $K_a \gg 1$ нөхцөл бүрэлдсэн үед T_u хүртэл чийглэг нүүрсний бүрэн халсан бүсийн ууршилтын динамикийн тооцооны илэрхийлэл доорхи хэлбэрээр бичигдэнэ.

7.79 - р томъёогоор нүүрсний эгэл хэсэг дэх ууршилтын харьцангуй гүн R_u нэгжгүй хугацаа $\tilde{m}Fo$, ууршилтын параметр \tilde{m} ба Био $\frac{1}{Bi}$ урвуу тооноос хамаарсан графикийг гаргаж зураг 7.4, 7.5-г үзүүлэв .

$$\tilde{m}Fo_1 = \frac{1}{2} (1 - R_u^2) + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{Bi_1} - 1 \right) (1 - R_u^3) + \frac{\tilde{m}}{10} \left[1 - 5R_u^2 \left(1 - \frac{6}{5} R_u \frac{1-R_u^2}{1-R_u^3} \right) \right]; \quad (7.79)$$



Зураг 7.4 Ууршилтын харьцангуй гүн, $\tilde{m}Fo_1$, $\frac{1}{Bi}$ \tilde{m} параметрээс хамаарах хамаарал



Зураг 7.5 Хатаалтын бүрэн хугацаа $\tilde{m}Fo_{1k}$, ууршилтын параметр \tilde{m} ба Био $\frac{1}{Bi}$ урвуу тооноос хамаарах хамаарал

Гадаад дулаан эрчимтэй зөөгдлийн нөхцөлд $Bi_1 \gg 1$, 7.79 илэрхийлэл дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$\tilde{m}Fo_1 = \frac{1}{2}(1 - R_u^2) - \frac{1}{3}(1 - R_u^3) + \frac{\tilde{m}}{10} \left[1 - 5R_u^2 \left(1 - \frac{6}{5}R_u \frac{1 - R_u^2}{1 - R_u^3} \right) \right], \quad (3.80)$$

2. Нүүрсний эгэл хэсгүүдийн бүрэн хатах агшин хүртэлх ууршилтын хамгийн их хугацаа:

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{Bi_1} - 1 \right) + \frac{\tilde{m}}{10}, \quad (7.81)$$

$Bi_1 \gg 1$ үед:

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{6} + \frac{\tilde{m}}{10}, \quad (7.81.a)$$

3. $\tilde{m} \ll 1$ үед 7.79 - 7.81a томъёонууд Л.С.Лейбензоны аргаар Б.В.Канторовичийн гарган авсан хамааралд шилжинэ.

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{2}(1 - R_u^2) + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{Bi_1} - 1 \right) (1 - R_u^3), \quad (7.82)$$

- а. Өгөгдсөн түлшний бүрэн халалтын тохиолдолд $Bi_1 \gg 1$:

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{2}(1 - R_u^2) + \frac{1}{3}(1 - R_u^3), \quad (7.82a)$$

Нүүрсний эгэл хэсгийн бүрэн хатаалтын үед:

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{Bi_1} - 1 \right) \quad (7.82b)$$

- б. $Bi_1 \gg 1$:

$$\tilde{m}Fo_{1k} \cong \frac{1}{6}, \quad (7.82b)$$

Хэмжээсгүй параметруудийн $\frac{l}{Bi}=1-20$, $\tilde{m} = 0.1-10$ хязгаарт байгуулсан графикуудын тусламжтайгаар хийсэн тооцоо нь шатаахын өмнө үлдэгдэл чийгшилтэй нүүрсний эгэл хэсгүүдийг хатаах үед ууршилтын гадаргуугын харьцангуй гүнзгийрэлт 25%-иас ихгүй байна.

Тэмдэглэл: a - дулааны диффузын коэффициент, m^2/c ; $A(R_{и})$, $B(R_{и})$, $C(R_{и})$, $A(R_{и})$ - тэгшитгэлийн нэмэлт функц, Bi - Биогийн тоо, $b(R_{и})$, $c(R_{и})$, $d(R_{и})$ - квадрат функцийн шугаман бус коэффициент, $e(R_{и})$, $f(R_{и})$ - тэгшитгэлийн нэмэлт функц, F_o - Фурьегийн тоо; $F_{ои}$ - ууршилт эхлэх үе дэх Фурьегийн тоо, $F_{ор}$ - тогтмол дулааны горимын үе дэх Фурьегийн тоо, $H_{и}$ -ууршилтын дулаан Дж/кг, I_L - Лейбензоны аргаар гаргасан шийд; $\sum_{j=1}^2 I_j$ - хуурай бүс дэх дулаан, K_i - Кирпичевийн тоо, K_a - дулааны түвшин, M - ууршилтын хэмжүүр, \tilde{m} - ууршилтын хэмжүүрийн харилцан хамаарал, $\sum_{k=1}^3 P_k$ - түлшний нийт дулааны нөөц, q - хэмжээсгүй дулааны урсгал, R , $R_{и}$ - гадаргуугийн ууршилт урсгалын тус тусын радиус, r , r_0 , $r_{и}$ - нүүрсний эгэл хэсгүүдийн урсгалын, чийгийн захын, анхны радиус m , T , $T_{и}$, T_c , - хийн шилжилтийн фазын анхны, эхлэх, дундах үеийн температур, K ; t - хугацаа, c ; $t_{и}$ - ууршилтын характеристик хугацаа, c ; t_T - дулааны давмамжийн характеристик хугацаа, c ; $V(R_{и})$ - ууршилтаар өнгөрөх дулааны урсгал; W - тэгшитгэлийн нэмэлт функц; ΔW - тэгшитгэлийн нэмэлт функц; $\alpha(R_{и})$, $\beta(R_{и})$ - тэгшитгэлийн нэмэлт функц; $\alpha_1[T_1(r_0, t)]$ - жижиг хэсгүүдийн гадаргуугийн температураас хамаарсан дулааны шилжилтийн коэффициент, $Вт/(m^2/K)$; $\Phi(R_{и})$ - тэгшитгэлийн нэмэлт функц; $\varphi_2(R)$ - ууршилт эхлэх үеийн түлшний температурын тархалт, K ; ψ - тэгшитгэлийн нэмэлт функц; λ - дулаан дамжуулалт, $Вт/(м·K)$; ρ - нягт, $кг/м^3$; Θ , Θ_c - орчны болон дулааны урсгалын хэмжээсгүй температур. Индекс: $и$ - ууршилт; $к$ - ууршилтын төгсгөл процесс; $п$ - гадаргуугийн холбоос; $р$ - тогтмол дулаан; $с$ - нөхцөл; $т$ - дулааны импульс; 1 - хатсан гадаргуу, 2 - чийгтэй түлш; 0 - анхны утга; j , k - тооллын сериал номер.

7.4. Нүүрсний эгэл хэсгийн дэгдэмхий эдийн ялгаралтын динамик болон термодеструкцийн математик загварчлалын судалгаа

7.4.1. Нүүрсний эгэл хэсгийн дэгдэмхий эдийн ялгаралт болон термодеструкцийн математик загварчлалын томъёолол

Энэ хэсэг нь нүүрсний шаталтын олон шатлалтай процессыг математик загварчлалын аргаар загварчилж хоёр шатлалтай болгож дэлгэрэнгүй тайлбарласан болно. Уг ажил нь нүүрснээс ялгарч буй дэгдэмхий эдийг судалсан. Нүүрсний дулаан

пиролизын физик-математикийн загварчлал нь эндотермийн эффектийг голчлон авч үздэг. Дэгдэмхий бодисын физикийн параметруудийг нарийвчлан тооцдог аналитик дөхөх аргаар энэхүү загварчлалыг боддог. Энэхүү математик загварчлалын арга нь нүүрсний дэгдэмхий эдийн инженерийн ерөнхий тооцоо болон янз бүрийн хатуу түлшний (жишээлбэл: ШивээОвоогийн нүүрс) шаталтын горимын судалгаа зэрэгт онцгой ач холбогдолтой юм.

Нүүрсний шаталт нь халааж эхлэхээс шатаж дуусах хүртэл физикийн маш өргөн процессыг хамардаг. Нүүрс нь органик болон минерал хэсгүүдэд хувирч, улмаар дэгдэмхий бодис ялгаран шатаж, нүүрстөрөгч үүсэх процесс хамрагдана. Нүүрсний шаталтын дулааны деструкцийн шат нь хамгийн чухал үе шат юм. Пиролизын үе шатны хамгийн гол онцлог нь дэгдэмхий бодисын ялгаралт юм. Дулааны деструкцийн хийн ялгаралтын хамгийн их хэмжигдэхүүн болон дэгдэмхий эдийн ялгаралтын эхний температурын үед нүүрсний дэгдэмхий эдийн ялгарах хэмжээ тухайн түлшний халж эхлэх хурднаас онцгой хамаарна. Төрөл бүрийн орд газрын нүүрснүүдийн хувьд энэ характеристик дараах байдалтай байна. Хүрэн нүүрс – 130-170 °С, чулуун нүүрс – 170-340 °С, антрацит – 380-400 °С [121].

Энэ талаар олон тооны судалгааны арга зүйг эрдэмтэд гаргасан байдаг [58, 121, 122, 123]. Жишээлбэл, деструкци болон поликонденсацын урвалтай хамт явагддаг дулаан задралын үед хий болон давирхайлаг бодисын гаралтын хурдыг тодорхойлдог. Энэ процессын эрчимжилт нь температур, халаах хурд, чулуулгийн зүйл болон метаморфизм зэрэг олон үе шатад явагдах зүй тогтоолоос хамаарна. Эрдэмтний судалгаанд өгөгдсөнөөс үзвэл чулуун болон хүрэн нүүрсний 600-650 °С-н хооронд явагдаж буй химийн урвал болон фазын хувиралд эндотермийн эффект гол байр суурийг эзэлж байна. Нүүрснээс ялгарч буй дэгдэмхий бодисны тоон болон чанарын хэмжээ нүүрсийг халаах дулааны хурднаас шууд хамаардаг нь туршилтаар тогтоогдсон. Хурдан /дулааны цохилт/ болон аажим халалтын үед төрөл бүрийн нүүрснээс дэгдэмхий эдийн ялгаралтийн тооны болон чанарын байдал туршилтаар батлагдсан байдаг [123]. Янз бүрийн хүчин зүйл нүүрсний дэгдэмхий эдийн гаралтад нөлөөлдөгийг дурдах хэрэгтэй.

Дэгдэмхий эдийн ялгаралтын динамик тооцооноос хамаарсан олон төрлийн үр дүнг гаргаж авсан. Нүүрсний бөмбөрцөг хэлбэртэй эгэл хэсгийн энгийн моделд [125] зориулан пиролизын урвалын хурдыг дараах томъёогоор тооцогдоно.

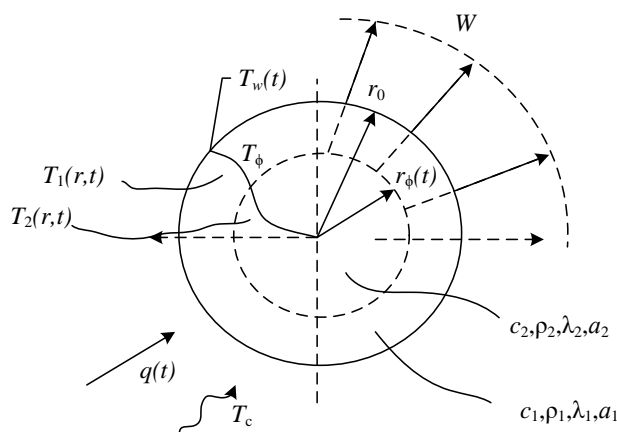
$$\frac{dW}{dt} = \frac{3K_0V_0^c}{100r_0^3} \int_0^{r_0} \exp \left\{ - \left[\int_0^t K_T(r, t) dt + \frac{E}{R_T T(r, t)} \right] \right\} r^2 dr,$$

$$K_T(r, t) = K_0 \exp \left[-\frac{E}{R_T T(r, t)} \right], \quad (7.83)$$

Энэ томъёог ашиглахын тулд нүүрсний тухайн жижиг хэсгийн стационар бус температурын орон захын нөхцөл өгөгдсөн байх ёстой. Нүүрсний жижиг хэсгийн температурын захын нөхцөлийг олохын тулд бас тусгай томъёогоор олох бөгөөд өөр нэг арга нь монографийн аргаар олох юм. Нүүрсний пиролизын шатанд Биогийн тоо гарч ирнэ. Энэ нь нүүрсний доторх температурын градиентыг тооцоход хэрэглэгдэнэ. Олон тооны хүчин зүйлийн нөлөөлөл болон дулааны задралын хугацаа ба хурднаас хамаарсан стационар бус загварыг байгуулан энэхүү бодолт нь горимын процесс болон физикийн характеристик дээр нарийвчлан анализ хийх болон экспресс тооцоо хийхэд ихээхэн чухал юм. Дэгдэмхий бодисын гаралтыг томъёолохын тулд дараах үндсэн хялбаршуулсан нөхцлийг хэрэглэнэ.

- a) Задралын процесс дулаан дамжуулах чанараар хязгаарлагдана.
- b) Дэгдэмхий бодисын хувьд кинетикийн ойлголт чухал биш.
- c) Сүвэрхэг коксын үлдэгдлээр дэгдэмхий бодисын нэвчилт нь нөлөөлөхгүй.
- d) Шингээх үзэгдэл чухал нөлөө үзүүлэхгүй.

Энэхүү бодлогын өгөгдөл нь (Зураг 7.6) өгөгдсөн болно.



Зураг 7.6. Бөмбөрцөг хэлбэрийн нүүрсний модель дээрх пиролизын схем.

Нүүрсний бөмбөрцөг хэлбэртэй эгэл хэсэгт химийн урвалын эндотермийн шилжилтийн хөдөлгөөн явагдах бөгөөд стационар бус дулаан зөөлтийн бодлогод энэ үе шатанд боломжтой тавилууд өгөгдөх ба өгөгдсөн материал дараах дулаан физикийн шинж чанаруудтай байна ($\alpha_1, \lambda_1, c_1, \rho_1$ и $\alpha_2, \lambda_2, c_2, \rho_2$). Задралын температурын фронт хугацаанаас хамаарахгүй гэж үзэж, T_ϕ гэж тэмдэглэнэ.

$$T_1(r_\phi, t) = T_2(r_\phi, t) = T r_\phi, \quad (7.83a)$$

Шилжилтийн фронт дээр задралын дулаанд зарцуулагдах L_ϕ , дулааны тоо хэмжээ түүний хөдөлгөөний хуулиар дараах нөхцлөөр тодорхойлогдоно.

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_\phi(t)} - \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_\phi(t)} = -\rho_2 L_\phi \frac{dr_\phi(t)}{dt}, \quad (7.836)$$

Дэгдэмхий бодисын массын гаралтын хурдыг энэхүү модельд дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$\frac{dG}{dt} = \frac{\pi \rho_y V_0^c r_0^3}{75} \left[1 - \left(\frac{r_\phi(t)}{r_0} \right)^3 \right], \quad (7.84)$$

Өгөгдсөн түлшний үе ба задралын үед зориулан дулаан дамжуулалтын стационар бус тэгшитгэлийг гарган авна.

$$\frac{\partial T_1(r,t)}{\partial t} = a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \right], \quad r_\phi(t) < r < r_0, \quad T_1(r,t) > T_\phi, \quad t > t_h, \quad (7.85)$$

$$\frac{\partial T_2(r,t)}{\partial t} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \right], \quad 0 < r < r_\phi(t), \quad T_h < T(r,t) < T_\phi, \quad (7.86)$$

анхны нөхцлөөр:

$$T_2(r, 0) = \varphi_2(r) \quad (7.87)$$

хязгаарын нөхцлөөр:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = \begin{cases} q(t), \\ a_\Sigma T_c - T(r_0, t) \end{cases}. \quad (7.88)$$

Дулааны бодлогын төв –тэгш хэмтэй байна.

$$\frac{\partial T_2(0,t)}{\partial r} = 0, \quad (7.89)$$

7.83а-7.89-р систем тэгшитгэлийг нэгтгэн ерөнхий судалгаанд зориулан нэгжгүй хэлбэрт оруулан дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$K_a \frac{\partial \Theta_1(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta_1(X, Fo)}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial \Theta_1(X, Fo)}{\partial X}, \quad R(Fo) < X < 1, \quad \Theta_1 > 1, \quad Fo > Fo_h, \quad (7.90)$$

$$\frac{\partial \Theta_2(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \Theta_2(X, Fo)}{\partial X^2} + \frac{2}{X} \frac{\partial \Theta_2(X, Fo)}{\partial X}, \quad 0 < X < R(Fo), \quad \Theta_0 < \Theta_2 < 1, \quad (7.91)$$

$$\Theta_2(X, 0) = \varphi_2(Fo), \quad (7.92)$$

$$\frac{\partial \Theta_2(0, Fo)}{\partial X} = 0, \quad (3.93)$$

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial X} \Big|_{X=1} \equiv Ki_1[\Theta(1, Fo), Fo] = \begin{cases} Ki_1(\Theta), \\ Bi_{1\Sigma}[\Theta_c - \Theta(1, Fo)] \end{cases}, \quad (7.94)$$

$$\frac{\partial \Theta_1(R, Fo)}{\partial X} - K_\lambda \frac{\partial \Theta_2(R, Fo)}{\partial X} = -M \frac{dR}{dFo} \equiv V(Fo), \quad (7.95)$$

$$\Theta_1(R, Fo) = \Theta_2(R, Fo) = 1, \quad (7.96)$$

7.90-7.96-д бичигдсэн тэгшитгэлийн систем нь 7.95-д заасан тухайн нөхцлөөс хамаарч шугаман бус хүчний аналитик тооцоог тооцсон учир ихээхэн хүндрэлтэй тал бий.

Үүний чанарын анализ нь хангалттай нийлмэл бодлого бөгөөд бодлогын анхны нөхцлийн тавилд өгөгдсөн хялбарчилгааг ашиглан битүү аналитик шийдлийг хүлээж авна.

Нэгжгүй параметрууд болох $Ki \leq 2, M/Ki > 1$ нь нам дулааны урсгал бүхий пиролизын үед хэлбэрждэг. $Ki \leq 2$ дулааны деструкцийн эхний үед тогтмол дулааны горимд байна гэсэн үг. $M/Ki > 1$ нөхцөл нь бага эрчимжилттэй дулааны эффект бөгөөд эзэлхүүн тэлэх процесст саад болдог. Эдгээр нөхцлүүдийг тооцоонд авах нь нэгдүгээрт нам дулааны эффекттэй дулааны пиролизын горимыг сайтар шалгаж үзэх боломж олгодог.

Нам дулааны урсгалтай дулааны пиролизын горим ($Ki \leq 2, M/Ki > 1$)-ын тооцоо.

Нүүрсний эгэл хэсгийн гадаргуу дээр болон хөндлөн огтлолоор температурын тархалтын үед F_{oH} - ийн температурын задрал хүрэх энэ агшинд тухайн хэсгээр тархах дулааны тархалт нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ [126].

$$\int_0^{F_{oH}} Ki_1(Fo) dFo + \frac{Ki_1(F_{oH})}{5} = 1 - \Theta_0, \quad (7.97)$$

$$\varphi_2(X) \equiv \Theta_2(X, F_{oH}) = 1 - \frac{Ki_1(1, F_{o1})}{2} (X^2 - 1), \quad (7.98)$$

Бидэнд мэдэгдэж байгаа $\varphi_2(X)$, F_{oH} ашиглан урвалд орж буй гадаргатай холбоотой Fo -н их утгыг олохын тулд стационар бус температурын оронд асимптот гаргалгааг бичье.

$$\begin{aligned} \Theta_1 = (R, Fo) \approx 1 + \frac{1}{1-R^3} \left\{ 3K_a^{-1} \int_0^{Fo} [Ki_1(Fo) - R^2 Q_1(Fo)] dFo + \frac{Ki_1(Fo)}{2} \times \right. \\ \left. \left[X^2 - \frac{3}{5} + 2R^3 W_2(X, R) \right] - \frac{R^2 Q_1(Fo)}{2} \left[X^2 - \frac{3}{5} R^2 + 2W_2(X, R) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (7.99)$$

$$\Theta_2(X, Fo) \cong 1 + \frac{1}{R^3}$$

$$\begin{aligned} \left\{ 3K_\lambda^{-1} \int_0^{Fo} R^2 [Q_1(Fo) - V(Fo)] dFo + 3 \int_0^R X^2 \varphi_2(X) + \right. \\ \left. + \frac{K_\lambda^{-1} R^2 [Q_1(Fo) - V(Fo)]}{2} \left(X^2 - \frac{3}{5} R^2 \right) \right\} \end{aligned} \quad (7.100)$$

Энд:

$$W_2(X, R) = \frac{1}{X} - \frac{9}{5} \frac{1-R^2}{1-R^3}$$

3.96 томъёоны нөхцлийг ашиглалгүй хоёр харилцан холбоог гаргах бөгөөд эдгээр нь дараах байдлаар олдоно.

а) Задралын динамик хөдөлгөөн $R(Fo)$:

$$3K_a^{-1} \int_0^{Fo} [Ki(\Theta_{w1}) - R^2 Q_1(Fo)] = \frac{Ki_1(\Theta_{w1})}{2} \left[R^2 - \frac{3}{5} + 2R^3 W_2(R, R) \right] + R^2 Q_1(Fo) \left[\frac{2R^2}{5} + W_2(R, R) \right], \quad (7.101)$$

б) Түлшийг халааж эхлэхэд зарцуулагдах хувьсах нэгжгүй дулааны урсгалын утганд нэмэлт хувьсагч $Q_2(Fo)$ -ийг оруулж өгнө.

$$R^3(Fo) = 3 \int_0^{Fo} R^2(Fo) Q_2(Fo) dFo + 3 \int_0^R R^2 \varphi_2(R) dR + \frac{R^2(Fo) Q_2(Fo)}{5}, \quad (7.102)$$

Түүнчлэн $Q_2(Fo)$ нь пиролизын урвалд $V(Fo)$ нь (7.94) тэгшитгэлд зарцуулагдах нэгжгүй дулааны урсгалтай холбогдоно.

$$Q_2(Fo) = K_\lambda^{-1} [Q_1(Fo) - V(Fo)], \quad (7.103)$$

Одоо 2 болон 3-р хязгаарын нөхцөлд практикт шаардлагатай байгаа зарим хаалттай тооцоо хоорондын харилцан холбоог ерөнхий бодлогоос олох боломжтой боллоо.

Түлшний эгэл хэсгийн гадарга дээрх хувьсах дулааны урсгалын үйлчлэлд дулааны деструкцийн үед хувьсах дулааны урсгалын үйлчлэлд фазын шилжилтын критерийг дараах харьцаагаар бичигдэнэ.

$$Ki_1(\Theta_w, Fo) \equiv Ki(Fo), \quad (7.104)$$

7.101 болон 7.102-р томъёо нь термодеструкцийн захын хөдөлгөөнийг тооцоолоход хэрэглэгдэнэ ($Fo=f(R)$) эргэх холбооны хэлбэрт).

$$Fo^* = \frac{K_a}{3} \frac{M}{Ki(Fo)} [1 - R^3(Fo)] + \frac{K_a}{30} [\alpha_2(R) + \beta_2(R) F_2(R, Fo) + \beta_2 R Q_2(R, Fo) + 2K_a^{-1} Q_2(0) (1 - e[-15\psi(Fo)])] \quad (7.105)$$

энд:

$$\alpha_2(R) = 3 - 5[R^2 + 2R^3 W_2(R, R)]; \beta_2(R) = 2R^2 [R^2 + 5W_2(R, R)];$$

$$Q_2(R, Fo) = Q_2(0) R^3 e[-15\psi(Fo)]; Q_2(0) = K_\lambda \frac{Ki_2(0)}{Ki_1(0)};$$

$$\psi(Fo) = \int_0^{Fo} \frac{dFo}{Ki_1(Fo)}; N(Fo) = \frac{M}{Ki_1(Fo)};$$

$$F_2(R, Fo) = \frac{3K_a^{-1}R^2N(Fo) + (1 - R^2)Q_2(R, Fo)}{2(1 - R^2)} \times$$

$$\times \left\{ -1 + \left[1 + \frac{12 + (1 - R^2)K_a^{-1}[1 - R^2Q_2(R, Fo)]N(Fo)}{[3K_a^{-1}R^2(Fo)N + (1 - R^3)Q_2(R, Fo)]^2} \right]^{1/2} \right\}, \quad (7.106)$$

7.105 - р томъёоноос практикт хэрэглэхэд дөхөмтэй хялбаршуулсан илэрхийлэл гарч ирж байна.

а) Эгэл хэсгийн пиролиз бүрэн явагдаж дуусахад зарцуулагдах үргэлжэх хугацаа:

$$Fo_k^* = \frac{K_a}{3} \frac{M}{Ki_1(Fo_k^*)} + \frac{K_a}{30} \left[3 + \frac{2K_\lambda Ki_2(0)}{K_a Ki_1(Fo_k^*)} \right], \quad (7.107)$$

б) $\frac{M}{Ki_1(Fo)} > 1$ үед (пиролизын процессыг хөгжүүлэх):

$$R(Fo) \approx \frac{1}{3} \left[1 - 3K_a^{-1} \int_0^{Fo} \frac{Ki_1(Fo)}{M} \right] dFo, \quad (7.108)$$

в) $Ki_1(Fo) = Ki = const$ тул өмнөх бүх илэрхийлэлд гарсан Fo^* -г Fo -р сольж болохоор байна. $K_a \ll 1$ пиролизын процесс явагдаж буй үед квазистационар дулаан зөөлтийн процесс явагдана. Доорх заасан нөхцөлд нүүрсний задралд орсон үе агшин зуур шилжих хөдөлгөөнд орно. Задралын динамик процесс дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$Fo^* = \frac{1}{3} \frac{M}{Ki(0)} [1 - R^3(Fo)] + \int_0^{Fo} R^{-3}(Fo) e[-15\psi(Fo)] dFo, \quad (7.109)$$

$K_a \gg 1$ үед түлшний дулаан шилжилт квазистационар байна. Эгэл хэсгийн динамик бутралт дараах томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$Fo^* = \frac{1}{3} \frac{M}{Ki(Fo)} [1 - R^3(Fo)] + \frac{1}{30} [\alpha_2(R) + \beta_2(R)F_2(R)], \quad (7.110)$$

энд:

$$F_2(R) = \frac{\beta_2(R)}{2\alpha_2(R)} \frac{M}{Ki(Fo)} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{12\alpha_2(R) Ki(Fo)}{\beta_2^2(R) M}} \right],$$

Бусад параметрууд эцсийн угтатой үед томъёо 7.105 - ын тооцооны хамааралыг олоход дөхөмтэй болж байна.

Нүүрсний эгэл хэсгийн гадаргуу дээр конвектив дулаан солилцоо явагдах үеийн пиролиз.

Энэ нөхцөлд хязгаарын нөхцөл нь стандарт хэлбэртэй (7.94) байна. 7.101 ба 7.102-р адилтгалаар дараах нөхцөлд тохирсон деструкцийн процессын тэгшитгэлийг бичиж болно.

$$3K_a^{-1} \int_0^{Fo} \left\{ \frac{\Theta_c - 1}{A(R)} - [V(R) + K_\lambda Q_2(Fo)][B(R) + R^2] \right\} dFo = \frac{1}{10} \left\{ \alpha_2(R) \frac{\Theta_c - 1}{A(R)} + [V(R) + K_\lambda Q_2(Fo)][B(Fo) - \alpha_2(Fo)B(R)] \right\}, \quad (7.111)$$

энд:

$$A(R) = \frac{1}{Bi_1} + \frac{2R^3 - 3R^2 + 1}{1 - R^3}; \quad B(R) = \frac{1}{2} R \frac{R^3 - 3R + 2}{1 - R^2} A^{-1}(R);$$

$$V(R) = \frac{Rd}{2\tilde{m}(1 - R^3)} \left\{ -1 + \left[1 + \frac{4\tilde{m}(1 - R^3)e(R)}{d^2 R} \right]^{1/2} \right\}; \quad \tilde{m} = \frac{(\Theta_c - 1)}{M};$$

$$d(R) = 3K_a^{-1}(B(R) + R^2) + \tilde{m}(1 - R^3)K_\lambda Q_2(Fo);$$

$$e(R) = 3K_a^{-1}\{A^{-1}(R) - K_\lambda Q_2(Fo)[B(R) + R^2]\}.$$

Эндотермийн урвалын хөдөлгөөнийг тодорхойлох нэгдсэн тооцооны томъёо дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\tilde{m}Fo = Z_L(R) + Z_1(R) + Z_2(R) + H_1(Q_2, R) + H_2(Q_2, R) + H_3(Q_2, R), \quad (7.112)$$

энд: $Z_L(R)$ - гишүүн нь Лейбензоны аргын бодолттой нийцнэ [118], 2 үеийн дулаан багтаамжийг тооцоогүй нөхцөлд, $\sum_{i=1}^2 Z_i$ - пиролизийн үеийн хэт халаалтыг тооцно, $\sum_{j=1}^3 Z_j$ - өгөгдсөн түлшний халаалтын хэсэг.

Урьдчилсан нөхцөлд, (7.112) илэрхийлэлийн тооцоог хялбарчлах боломжтой. $R=0$ үед нүүрсний хэсэг бүрэн задарч дуусах хугацаа:

$$\tilde{m}Fo = Z_L(0) + \sum_{i=1}^2 Z_i(0) + \sum_{j=1}^3 H_j(0), \quad (7.113)$$

$m \rightarrow 0$ руу тэмүүлж байхад пиролизын эхний үед термодеструкцийн динамик байдал дараах томъёогоор тодорхойлогдох бөгөөд энэ нь Лейбенцовын аргаар бодсон үр дүнтэй тохирч байгаа юм.

$$\tilde{m}Fo \cong Z_L(0) = \frac{1-R^3}{3} \left[\frac{1}{Bi} + \frac{A_2(R)}{2} \right], \quad A_2(R) = \frac{2R^3 - 3R^2 + 1}{1 - R^3}, \quad (7.114)$$

$\sum_{i=1}^2 Z_i = 0$ ($K_a \ll 1$) үед задралын хил дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$Fo = \frac{1}{3} \frac{M_2}{Bi_2(\Theta_c - 1)} (1 - R^3) + \frac{1}{15} [1 - e(-15\psi(Fo))], \quad (7.115)$$

$$\tilde{m}Fo \cong Z_L(R) + \frac{\tilde{m}}{30} \{3 - 5[R^2 + 2R^3 W_2(R, R)]\}, \quad (7.116)$$

Эрчимтэй дулааны урсгалын үед прилозийн горим ($Ki \geq 2$, $M/Ki \approx 1$).

$M/Ki \approx 1$ нөхцөл нь нүүрсний жижиг хэсэг дээр явагдаж буй дулааны процесс нь тэр жижиг хэсгийн зөвхөн нэг тал дээр явагдаж байгааг харуулж байна (халаагүй бие). Харин $Ki \geq 2$ нөхцөл нь Fo -н, утгатай байхад деструкцийн параметр хангалттай хугацаанд хүрэх бөгөөд дулааны квазистационар горимд хамгийн бага нэгжгүй хугацаанд хүрнэ.

7.90-7.96 - р бодлогод зөөлөн дулааны горим пиролизийн горимоос ялгаатай ба 7.93-р нөхцлийг өөрчлөн дараах хэлбэрээр илэрхийлнэ.

$$\left. \frac{d\Theta}{dX} \right|_{X=\chi} = 0, \quad (7.117)$$

Энд дулааны долгиол (возмущения)-ын томъёог дараах нэмэлт тэгшитгэлээр бичиж болно.

$$\Theta(X, Fo) = \Theta_0, \quad (7.118)$$

Нүүрс деструкцийн параметр хүрэх агшин дахь хөндлөн огтлолын температур :

$$\Theta_2(X, Fo) \equiv \varphi_2(X) = \Theta_0 + (1 - \Theta_0) \left[\left(\frac{X - \chi_H}{1 - \chi_H} \right)^2 \frac{1 + \frac{2\chi_H}{X}}{1 + 2\chi_H} \right], \quad (7.119)$$

Агшин нь өөрөө дараах хамаарлаас олдоно.

$$\int_0^{Fo_H} Ki_1(1, Fo) dFo = \frac{Ki_1(1, Fo_H)}{5} (1 - \chi_H) h(\chi_H), \quad h(\chi_H) = 1 + \frac{2Rx(T - \chi^3)}{R^3 - \chi^3}, \quad (7.120)$$

Хугацааны координатад температурын орны асимптотик задрал нэгдүгээр үед 7.99-р илэрхийлэлээр, хоёрдугаар үед дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ (Fo_H -ээс нэгжгүй хугацааг тооцно).

$$\Theta_2(X, Fo) \frac{1}{R^3 - \chi^3} \left\{ 3K_\lambda^{-1} \int_0^{Fo} R^2 \left[\frac{Ki(Fo)}{V(Fo)} - \right] dFo + 3 \int_\chi^R X^2 \varphi_2(X) dX 0.5K_\lambda^{-1} R^2 [Q_1(Fo) - V(Fo)] \left\{ X^2 - \frac{3}{5} R^2 + 2\chi^2 \left[\frac{R-X}{RX} - \frac{1}{5} \left(\frac{5}{R} - 9 \frac{R^2 - \chi^2}{R^3 - \chi^3} \right) \right] \right\} \right\}, \quad (7.121)$$

Дээрх гаргаж авсан тэгшитгэлээс дараах хэмжигдэхүүнүүд мэдэгдэхгүй байна. $R(Fo)$, $\chi(Fo)$, $Q_2(Fo)$, 7.96, 7.103, 7.118 гэсэн томъёонуудаас ашиглагдаагүй нөхцлүүдийг ашиглан дараах гурван хамаарлыг гаргаж болохоор байна.

$$3K_a^{-1} \int_0^{Fo} \left[Ki(Fo) - R^2 (K_\lambda Q_2(Fo) + V(Fo)) \right] dFo = \frac{Ki(Fo)}{10} \alpha_2(R) + \frac{K_\lambda Q_2(Fo) + V(Fo)}{10} \beta_2(R) \quad (7.122)$$

$$(R^3 - \chi^3) = 3K_\lambda^{-1} \int_0^{Fo} R^2 [Ki(Fo) - V(Fo)] + 3 \int_\chi^R X^2 \varphi_2(X) dX + R^2 Q_2(Fo) \left[\frac{1}{5} R^2 - \frac{1}{5} \chi^2 \left(\frac{5}{R} - 9 \frac{R^2 - \chi^2}{R^3 - \chi^3} \right) \right] \quad (7.123)$$

$$\Theta_0(R^3 - \chi^3) = 3K_\lambda^{-1} \int_0^{Fo} R^2 [Ki(Fo) - V(Fo)] dFo + 3 \int_\chi^R X^2 \varphi_2(X) dX + R^2 Q_2(Fo) \left\{ \chi^2 - \frac{3}{5} R^2 + 2\chi^2 \left[\frac{5}{R} - 9 \frac{R^2 - \chi^2}{R^3 - \chi^3} \right] \right\}, \quad (7.124)$$

Давхаргын задралд орсон агшин зуурын шилжилтэд тохирох $K_a \ll 1$ үед пиролизийн нөхцлийг авч үзье. Хэмжигдэхүүн χ дараах алгебрийн тэгшитгэлээр тодорхойлогдоно.

$$2(1 - \Theta_0) = [Ki(Fo) - V(Fo)][R(Fo) - \chi(Fo)]\lambda(R, \chi), \quad (7.125)$$

Задралд орсон нүүрсний үеийн динамик дараах хэлбэртэй байна.

$$Fo^* = \left(N + \frac{1}{S}\right) [1 - R(Fo)] + \frac{1}{5S^2} [U(Fo)\mu_2(R, \chi) + 2\Delta\mu_2(R, \chi) + 2T(Fo)], \quad (7.126)$$

энд:

$$S = \frac{Ki(0)}{1 - \Theta_0}; \quad U(Fo) = Q_2[R(Fo) - \chi(Fo)]\lambda(R, \chi) - 2;$$

$$\mu_2(R, \chi) = \frac{1 + 2R(1 - \lambda(R, \chi))}{\lambda^2(R, \chi)};$$

$$\lambda(R, \chi) = 1 + \frac{\chi(R^2 - \chi^2)}{R^3 - \chi^3}; \quad \Delta\mu_2 = \mu_2(R, \chi) - \mu_2(1, \chi);$$

$$T(Fo) = \int_0^{Fo} [U(Fo) + 2]\mu_2(R, \chi)R^{-1}(Fo)\dot{R}(Fo)dFo$$

Эхний шатны дулааны деструкцийн хялбаршуулсан тооцооны илэрхийлэл дараах хоёр систем тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$Fo^* = \left(N + \frac{1}{S}\right) [1 - R(Fo)] + \frac{U(Fo)}{3S^2}, \quad (7.127)$$

$$Fo = \frac{N}{3S} \int_0^{U(Fo)} \frac{(U+2)dU}{2(1+NS) - \frac{(U+2)Ki(Fo)}{Ki(0)}}, \quad (7.128)$$

$U(Fo)$ илэрхийллийг хялбарчлахын тулд туйлын параметрийг ашиглав.

$$M \rightarrow 0: U(Fo) \cong 2 \left(\frac{Ki(Fo)}{Ki(0)} - 1 \right), \quad (7.129)$$

$$M \rightarrow \infty: U(Fo) \cong 2 \left(\sqrt{1 + 3Q_2^2 Fo} - 1 \right), \quad (7.130)$$

7.4.2 Тооцоо болон туршилтын өгөгдлийн харьцуулалт

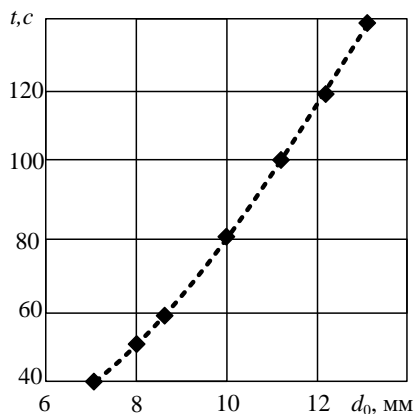
Деструкцийн хугацааг 7.114-р томъёотой харьцуулан тооцох нөхцөлд зарим эрдэмтэд [128]-ийн хийсэн туршилтын үзүүлэлттэй давхцана. Энд: дундаж температур: $T_c = 1073\text{K}$; задралын дулаан: $L_\phi = 5,23 \cdot 10^6$ кДж/кг; хуурай масс дахь дэгдэмхий эдийн агуулга: $V_o^c = 34\%$; задралын үеийн температур: $T_\phi = 673\text{K}$. Дулаан физикийн шинж чанар дараах хэмжигдэхүүнтэй давхцана:

а) прилозийн үед: дулаан дамжилт - $\lambda=0,3$ Вт/м·К; температур дамжилт - $a_1=0,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с; дулаан багтаамж - $c_1=1.08$ кДж/м³·К;

б) түлшний өгөгдөл: дулаан дамжилт - $\lambda_2=0,2$ Вт/м·К; температур дамжилт - $a_1=0,181 \cdot 10^{-6}$ м²/с; дулаан багтаамж - $c_2 = 0,9$ кДж/(м³·К).

7.114-р томъёо нь нүүрсний эгэл хэсгийн хэмжээнээс хамаарч дэгдэмхий эдийн ялгарах хугацааг харуулна.

Энэ хамаарлын тооцоог 7.7-р зурагт, график хэлбэрээр дүрслэн харуулав.



Зураг 3.7. Пиролизийн үргэлжлэх хугацаа нүүрсний эгэл хэсгийн хэмжээнээс хамаарах хамаарал.

Энд тавигдсан цэгүүд нь туршилтын өгөгдлөөр өгөгдсөн. Үүнээс харахад онолын болон туршилтын дүн тохирч байгааг харуулж байна.

7.5. Хүрээлэн буй орчны цацрагийн болон конвекцийн нөхцөл дэх нүүрсний эгэл хэсгийн шаталтын үе шатны судалгаа

7.5.1 Бодлогын математик тавилын зарчим

Шаталтын үечлэл нь органик түлшний шаталтын ерөнхий дүр зурагт чухал хэсэг болдог. Олон шатлалтай шаталтын процесст түлшний халалт, хаталтын үе шатаас хамааран дэгдэмхий эдүүд ялгарах ба энэ бүлгийн өмнөх хэсгүүдэд бидний авч үзсэн дулааны бүтцийн өөрчлөлтүүд явагдана [115, 120, 124]. Шаталтын критик тодорхойломжууд зуухны асаагуурийн төхөөрөмжийн төсөл хийх, галлагааны процессуудын удирдах ба тэдгээрийг оновчлох зэрэгт чухал мэдээлэл болж өгдөг. Орчин үед янз бүрийн нүүрсний дулааны шаталтын ба нүүрсэн дээрхи композицийн судалгаа ихээхэн сонирхол татдаг. Учир нь энэ төрлийн хатуу түлш нь дэлхийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн үндсэн суурь болж байна. Энэ нь ялангуяа их балансын нөөцтэй боловч эрчим хүчинд бага хэрэглэгдэж байгаа нүүрсний ордуудад хамааралтай юм. Ийм ордод Монголын Шивээ-Овоогийн хүрэн нүүрсний ил орд, Оросын Листвянскийн антрацит г.м

бусад хэд хэдэн ордыг хамааруулж болно. Шивээ-Овоогийн хүрэн нүүрсний орд бол Монголийн эрчим хүчний түлшний нэг үндсэн нөөц юм.

Энэхүү судалгааны ажилд бид нүүрсний жижиг хэсгүүдийн шаталтын цацраг-конвекцийн дулаан солилцооны үйлчлэлийн бодлогыг авч үзсэн.

Шаталтын үндсэн тодорхойломжуудыг тодорхойлох ойролцоолсон-аналитик хамаарлуудыг байгуулсан нь чанарын дэлгэрэнгүй шинжилгээ явуулах ба тоон экспресстооцоо гүйцэтгэх боломж олгож байгаа юм.

Физик-химийн тодорхойломжууд тогтмол нөхцөлд нүүрсний жижиг бөмбөрцөг хэсгүүд дээр цацрагийн ба конвектив урсгалууд хамт үйлчлэх үеийн дулааны эрчимд шаталтын математик загварыг дараах хэлбэрээр бичиж болно:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = r^{-2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) + \frac{Q_{z0}}{c} \exp \left(-\frac{E}{RT(r,t)} \right), \quad 0 < t < t_3, \quad 0 < r < r_0 \quad (7.131)$$

$$T(r,t) = T_n \quad (7.132)$$

$$\lambda \frac{\partial T(r_0,t)}{\partial r} = \alpha_k [T_c - T(r_0,t)] + \varepsilon \sigma_0 [T_c^4 - T^4(r_0,t)] \quad (7.133)$$

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial r} = 0 \quad (7.134)$$

энд: a – жижиг хэсгийн температур дамжуулалт, м²/с; c – хувийн дулаан багтаамж, Дж/кгК; σ_0 - хар биеийн цацруулалтын тогтмол, Вт/м²К⁴; ε – харын зэрэг; B – Биогийн шинжүүр; E - идэвхижилтийн эрчим, Дж/моль; Q - урвалын дулааны эффект, Дж/кг, z_0 - Аррениусын хуулийн экспоненциалын өмнөх үржвэр, 1/с; Ki - Кирпичевын шинжүүр; R – хийн тогтмол, кДж/моль; r, r_0 - бөмбөлөг хэсгийн тухайн ба анхны радиусууд, м; T, T_n, T_c - тухайн, анхны, орчны температурыуд, К; t, t_3 – шаталтын хугацаа, с.

Шаталтын бодлого 7.131 - 7.134, зарим эрдэмтэдийн [126] ангилалаар хоёр удаагийн шугаман бус хамаарлыг илэрхийлсэн тул түүний хувьд зөв аналитик бодолтыг байгуулах боломж байхгүй. Шаталтын параметруудын шуурхай үнэлгээнд хамгийн тохирох нь аналитик судалгааны ойртон дөхүүлэх аргууд юм. Энэ параграфт ийм бодолтын байгуулалт ба шинжилгээг авч үзсэн.

Дараах төсөөлөлд үндэслэн шаталтын тухай бодлогын нарийн төвөгтэй шугаман бус математик загварчлалд эхний удаад хэд хэдэн хялбарчлал оруулая:

1. Хатуу фазын химийн мэдрэмжийн бүсийн өчүүхэн бага хэмжээнээс шалтгаалан бөмбөлөг гадаргууг тооцохгүй ($x_T/r_0 \ll 1$, зураг 7.8).

2. Цацруулагч ба конвекцлох орчны температурыуд адилхан, тогтмол ба тэнцүү T_c .

3. Түлшний шаталт нь шаталтын тодорхойломжид үл мэдэг бага нөлөөлнө.

4. Цацраг-конвекци хэлбэрийн (7.133) шугаман биш хязгаарын нөхцлийг дараах

маягаар шугаман тэгшитгэлд шилжүүлнэ.

а) зарим эрдэмтэдийн [118] хийсэн үнэлгээнээс үзэхэд, шатаж буй хэсгийн гадаргуугийн үнэмлэхүй температурыг цацруулагчийн үнэмлэхүй температурт харьцуулсан харьцаанд $T_w/T_c < 0.65$, температурын оронд 5% -с бага алдаатай бол буцах цацрагийг тооцохгүй.

$$\varepsilon\sigma_0 (T_c^4 - T^4(r_0, t)) \cong \varepsilon\sigma_0 T_c^4 \equiv q_c \quad (7.135)$$

энд: q_c - гадаргуугийн дулааны урсгалын нягт, Вт/м².

б) хэрэв $T_w/T_c > 0.65$ бол өөрийн цацруулалтын үүрэг ач холбогдолтой болох ба өөр ойролцооллыг өгч болно.

$$\varepsilon\sigma_0 (T_c^4 - T^4(r_0, t)) \cong 4\varepsilon\sigma_0 T_c^3 (T_c - T(r_0, t)) \equiv \alpha_l (T_c - T(r_0, t)) \quad (7.136)$$

энд: $\alpha_l = 4\varepsilon\sigma_0 T_c^3$.

Шаталтын бодлогыг зохих төсөөллийг тооцож, хялбарчилсан байдлаар дараах систем тэгшитгэлээр тодорхойлно.

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + \frac{Q_{z0}}{c} \exp\left(-\frac{E}{RT(x, T)}\right), \quad 0 < t < t_3, \quad 0 < x < x_m \quad (7.137)$$

$$T(x, 0) = T_n \quad (7.138)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha_k [T_c - T(0, t)] + q_c, \quad \text{если } \frac{T(0, t)}{T_c} < 0.65, \quad (7.139)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha_\Sigma [T_c - T(0, t)], \quad \text{если } \frac{T(0, t)}{T_c} > 0.65, \quad \text{а } \alpha_\Sigma = \alpha_k + \alpha_l \quad (7.140)$$

$$\lambda \frac{\partial T(\infty, t)}{\partial x} = 0 \quad (7.141)$$

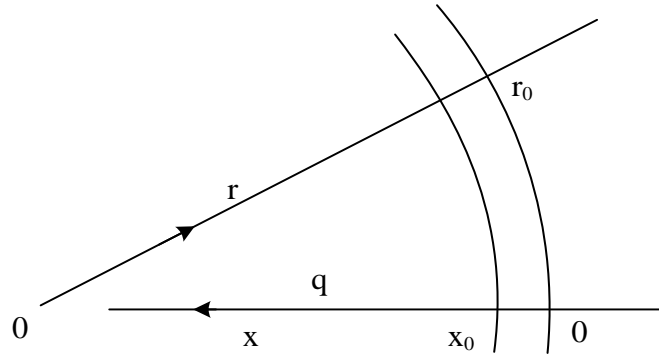
энд: α - конвекцийн дулаан өгөлтийн коэффициент, Вт/(м²·К); индексүүд: k - конвекцийн; l - цацрагийн; Σ - нийлбэр утга; λ - дулаан дамжуулалтын коэффициент, Вт/(м·К).

Шаталтын онолд өргөн хэрэглэгддэг Франка-Каменецкийн [62, 130] тэгшитгэлүүдийг 7.137 - 7.141-д орлуулъя.

$$\Theta = \frac{E}{RT_*^2} (T - T_*), \quad \tau = \frac{t}{t_m}, \quad \zeta = \frac{x}{x_m}, \quad t_m = \frac{RT_*^2}{R} \frac{c}{Q_{z0}} \exp\left(\frac{E}{RT_*}\right), \quad x_T = \sqrt{at_m}, \quad \beta = \frac{RT_*}{E},$$

$$\Theta = \frac{E}{RT_*^2} (T_c - T_*)$$

энд: T_* - температурын масштаб, К; β - хэмжээсгүй параметр; Θ - тухайн хэмжээсгүй температур, ζ - хэмжээсгүй координат; t_m - дулааны үйлчлэлийн тархалтын хугацаа, с; τ - хэмжээсгүй хугацаа, с.



Зураг 7.8. Нүүрсний хэсгийн гадаргуугаас түүний дотуур тархах дулааны үйлчлэлийн геометрийн интерпретаци

Ерөнхий параметрууд оруулья:

$$\Theta = \frac{\alpha x_T}{\lambda}, \quad \Theta_n = \frac{E}{RT_*^2} (T_n - T_*), \quad Ki_c = \frac{E}{RT_*^2} \frac{x_T}{\lambda} \varepsilon \sigma_0 T_c^4$$

Температурын масштаб T_* энд тодорхойлогдоогүй. Энэ нь бодлогын бодолтын явцад олдоно. Нэгжгүй хувьсагчуудад шилжүүлж, дараах систем тэгшитгэлийг гаргана.

$$\frac{\partial \Theta(\zeta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta(\zeta, \tau)}{\partial \zeta^2} + \exp\left(\frac{\Theta}{1 + \beta \Theta}\right) \quad (7.142)$$

$$(\zeta, 0) = \Theta_n \quad (7.143)$$

$$-\frac{\partial \Theta(0, \tau)}{\partial \zeta} = Bi_k (\Theta_c - \Theta(0, \tau)) + Ki_c = Ki [\Theta(0, \tau)] \text{ хэрэв } \frac{\Theta(0, \tau)}{\Theta_c} \leq 0.65 \quad (7.144)$$

$$-\frac{\partial \Theta(0, \tau)}{\partial \zeta} = Bi_\Sigma (\Theta_c - \Theta(0, \tau)) \equiv Ki [\Theta(0, \tau)] \text{ хэрэв } \frac{\Theta(0, \tau)}{\Theta_c} > 0.65 \quad (7.145)$$

$$\frac{\partial \Theta(\infty, \tau)}{\partial \zeta} = 0 \quad (7.146)$$

энд: Θ , Θ_n ба Θ_c – тухайн үеийн анхны ба орчны нэгжгүй температур.

Ийм маягаар тавигдсан бодлогын өөрөөр хэлбэл цацраг-конвекцийн дулааны үйлчлэлээр нүүрсний жижиг хэсгийн шаталтын математик загварыг гарган авав.

7.5.2. Бодлогын бодолт ба түүний тавил

Шаталтын математик загварыг 7.142 - 7.146 тэгшитгэлүүдийг ашиглан адиабат нөхцөлд бодож болно [131]. Энэ аргаар ерөнхий бодлогыг 7.142 - 7.146 хоёр бодлогын хэлбэрээр илэрхийлнэ. Нэг дэх бодлого нь инертын халалтын бодлого бөгөөд химийн урвалаас гарах дулаан ялгаралт нь дулааны гадна үүсгүүрээс дулаан нэвтрүүлэлтээр жижиг хэсгийн дотор талруу өгөгдөх дулаантай харьцуулахад бага юм. Энд бодлогын тавил ойролцоогоор дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$\frac{\partial \Theta(\zeta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta(\zeta, \tau)}{\partial \zeta^2}, \quad 0 < \tau < \tau_{np}, \quad 0 < \zeta < 1, \quad \Theta_n < \Theta(\zeta, 0) < \Theta_{np} \quad (7.147)$$

Мөн дараах хязгаарын нөхцлүүдтэй 7.143 - 7.146. энд: Θ_{np} - халаалтын эхний нэгжгүй

температур; τ_{np} - халалтын нэгжгүй хугацаа.

Хоёрдахь бодлогын гол ялгаа бол химийн урвалын явагдах бүсэд ялгарсан дулаан нь тухайн жижиг хэсгээр дулаан нэвтрүүлэлтээр дамжуулагдаж хаягдсан дулааны дээр дагалддагийг тооцоолно. Энэ тохиолдолд адиабат шаталт явагдах тул түүнээс үүдэн зохих анхны нөхцөлтэй дараах бодлогыг бодох шаардлагатай:

$$\frac{\partial \Theta(\xi, \tau)}{\partial \tau} = \exp\left(\frac{\Theta}{1 + \beta \Theta}\right) \quad (7.148)$$

Систем тэгшитгэлүүдийн (7.147 ба 7.148) шийдийг гаргасаны дараа эдгээр шийдүүдийг гадаргуугийн температурын үнэмлэхүй утгуудын тэнцэтгэлээр болон тэдгээрийн нэгдүгээр зэргийн уламжлалын хугацааны хэмжигдэхүүнээр [131] тус тус интегралчлах хэрэгтэй.

Инертийн халалтын муж.

Шугамчлагдсан тэгшитгэлийн системийн (7.143 - 7.146) бодолтыг Лапласаар хөрвүүлсэн асимптотик задаргааг байгуулах замаар өмнөх параграфууд болон эрдэмтэдийн судалгааны ажлуудад [115, 120, 124, 132] хийгдэж байсан шиг анхдагч бодлогын параметрын их утгуудын хувьд s хувиргалт ба анхны илэрхийлэлд буцаан шилжүүлэх зэргээр гүйцэтгэсэн. Үр дүнд жижиг хэсгүүдийн гадаргуугийн температурын хувьд:

$$\frac{\Theta(0, \tau) - \Theta_n}{Ki[\Theta(0, \tau)]} \cong \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau} + \dots \quad (7.149)$$

Илэрхийлэл $\Theta(0, t)$, 7.144 хэлбэрт гадна дулаан өгөлтийн горимын хувьд дараах маягаар бичигдэнэ.

$$\Theta(0, \tau) \cong \frac{\Theta_n + (Bi_k \Theta_c + Ki_c) \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}\right)}{1 + Bi_\Sigma \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}\right)}, \quad (7.150)$$

Харин (7.146) хэлбэрт дулаан өгөлтийн нөхцлийн хувьд доорхи харьцааг гаргана.

$$\Theta(0, \tau) \cong \frac{\Theta_n + Bi_\Sigma \Theta_c \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}\right)}{1 + Bi_\Sigma \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\tau}\right)}. \quad (7.151)$$

Адиабат шаталтын муж.

Энд зохих анхны нөхцлүүдтэй систем тэгшитгэлийн (7.147) хэлбэртэй бодлогын хялбарчилсан тавил хүчин төгөлдөр юм. Түүний ойролцоолсон шийд монографид [136] өгөгдсөн бөгөөд $\beta \ll 1$ тохиолдолд дараах хэлбэртэй болно.

$$\tau_3 = \tau_{np} + \tau_u \quad (7.152)$$

Шаталтын бүрэн хугацаа нь халаах хугацаа τ_{np} индукцийн хугацааны τ_u нийлбэр юм. Манай тохиолдолд:

$$\tau_u \cong 1 + 2\beta.$$

7.150, 7.151 хамарлууд $\tau = \tau_{np}$ үед халалтын температурыг тодорхойлно. Шаталтын адиабатын онолын ерөнхий заалтаас үзвэл эдгээр мужууд дахь шийдүүд анхны хугацааны уламжлалын ба температурын тэнцэтгэлийн аль аль нь шаардлагатай. Хэсгийн гадаргуугийн температурын өөрчлөлтийн хурдны $d\theta_{np}/d\tau$ хувьд 7.149-д 7.150 ба 7.151 хязгаарын нөхцлийн үед тэгшитгэлийн баруун талын нэгдүгээр гишүүн байх болно.

$$\frac{d\theta_{np}}{d\tau} \approx \frac{Bi_k(\theta_c - \theta_n) + Ki_c}{\sqrt{\pi\tau_{np}} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\tau_{np}}\right)^2} \quad (7.153)$$

$$\frac{d\theta_{np}}{d\tau} \approx \frac{Bi_\Sigma(\theta_c - \theta_n)}{\sqrt{\pi\tau_{np}} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\tau_{np}}\right)^2}. \quad (7.154)$$

Эцэст нь дараах тэнцэтгэлд шилжинэ.

$$\sqrt{\pi\tau_{np}} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}Bi_k\sqrt{\tau_{np}}\right)^2 \exp\left(\frac{\theta_{np}}{1 + \beta\theta_{np}}\right) = Bi_k(\theta_c - \theta_n) + Ki_c \quad (7.155)$$

$$\sqrt{\pi\tau_{np}} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}}Bi_\Sigma\sqrt{\tau_{np}}\right)^2 \exp\left(\frac{\theta_{np}}{1 + \beta\theta_{np}}\right) = Bi_\Sigma(\theta_c - \theta_n) \quad (7.156)$$

Трансцендент тэгшитгэлийн системээс 7.150, 7.155 болон 7.151, 7.156 үл мэдэгдэгчүүд (τ_{np} ба θ_{np})-г, бисекцийн үр ашигтай аргаар олж болно [134, 135]. Дараа нь 7.152-оор шаталтын нийт хугацааг тодорхойлно.

Одоо температурын масштаб (T^*)-ыг тодорхойлъё. Өгөгдсөн бодлогын адиабат нөхцлөөр ердийн бодит масштаб нь халаах температур (T_{np}) юм. $\theta_{np} = 0$ үед дараах харьцааг гаргана.

$$\frac{\pi}{2} \frac{|\theta_{np}|}{(Bi_k\theta_c + Ki_c)} \left(1 + \frac{|\theta_{np}|Bi_k}{(Bi_k\theta_c + Ki_c)}\right)^2 = Bi_k(\theta_c - \theta_n) + Ki_c \quad (7.157)$$

$$\frac{\pi}{2} \frac{|\theta_{np}|}{Bi_\Sigma\theta_c} \left(1 + \frac{|\theta_{np}|}{\theta_c}\right)^2 = Bi_\Sigma(\theta_c - \theta_n) \quad (7.158)$$

7.157, 7.158 тэгшитгэлүүдээс графикийн ба эсвэл дараалан ойртуулан дөхүүлэх аргаар үл мэдэгдэх температурын масштабыг олно.

Анхны ойролцоололтоор нүүрсний хэсгийн анхны температураас шаталтын хугацааны хамаарах зэрэг нь K_{T_n} коэффициентоор тодорхойлогдож болно.

$$K_{T_n} = \left. \frac{\partial \ln t_3}{\partial \ln(T_{np} - T_n)} \right|_{T_c, \alpha} \approx \frac{1 + |\theta_{np}|}{1 + 0.5|\theta_{np}|} \quad (7.159)$$

$|\theta_n|$ -ийн утга 5-30 зайцад өөрчлөгдөх үед $K_{T_n} = 1.1 - 1.9$ бага хязгаарт өөрчлөгдөнө.

Мөн адилхан шаталтын хугацааны дулаан өгөлтийн коэффициентноос K_α хамаарах зэрэг дараах хэлбэртэй болно.

$$K_{\alpha} \cong \frac{\partial \ln t_3}{\partial \ln \alpha} \Big|_{T_c, T_H} \cong \frac{|\Theta_H|}{1+0.5|\Theta_H|}, \quad (7.160)$$

Энэ нь 1.4-1.9 хязгаардмал зайцад өөрчлөгдөнө.

Тогтмол дулааны урсгалын нүүрсний хэсэгт үйлчлэх тухайн тохиолдолд халаалтын инертийн үеийн температурын функцийг хувьд бодогдсон шийд 7.149, [131]-д сийрүүлсэн бодлогын шийдтэй нарийн тохирч байна. Өгөгдсөн жишээний хувьд шаталтын параметрууд, [131]-тэй адилхан харьцаанаас тодорхойлогдсон.

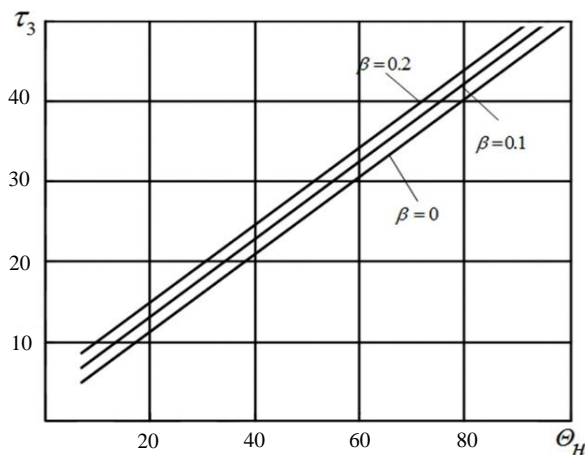
$$\tau_{np} = 0.5|\Theta_H|, \quad \tau_H = 1+2\beta, \quad \tau_3 = 1+2\beta+0.5|\Theta_H|, \quad (7.161)$$

Онолын үр дүнг 7.161 тоон интегралчлалын өгөгдлүүдтэй харьцуулсаныг хүснэгт 7.4-т үзүүлсэн ба тооцооны үзүүлэлтүүд тохирсон болно. Параметр β практик утгуудынхаа мужид шаталтын хугацаанд бага нөлөөлж байгааг тэмдэглэх нь зүйтэй (зураг 7.9).

Хүснэгт 7.4

Томъёо (7.161)-оор, $\beta=0$ үед тооцоолсон шаталтын нэгжгүй хугацааны харьцуулалтын үр дүн

Асалтын хугацаа $ \Theta_H $	5	10	20	25	30	40	100
$\tau_3^{теор}$	3,69	6,47	11,69	14,26	16,31	21,85	52,0
$\tau_3^{числ}$	3,5	6,0	11,0	13,5	16,0	21,0	51,0
Алдаа, %	5,1	6,7	5,9	5,3	4,8	3,9	2,0



Зураг 7.9. Шаталтын сааталд β параметрын нөлөөлөл

Ийм маягаар цацраг-конвекцийн үйлчлэлийн горимд нүүрсний хэсгийн температурын орны хувьд адиабатын онолын үндсэн дээр судлаачдын боловсруулсан асимптотик задаргааны тусламжтайгаар шаталтын ойролцоолсон-аналитик

параметруудыг гарган авсан болно. Хамаарлаар гаргасан тооцооны өгөгдлүүдийг тоон интегралчлалын үр дүнтэй харьцуулахад инженерийн практикын хувьд хангалттай давхцаж байгааг илэрхийллээ. Тооцооны аргаар β параметр нь түүний бодит утгуудын диапозонд шаталтын хугацаанд сулавтар нөлөөтэйг үзүүллээ.

7.6. Нүүрсний эгэл хэсгийн шаталтын төгсгөлийн үе

Судалгааны ажлын энэхүү бүлэгт нүүрсний хэсгийн олон үе шатат процессын төгсгөлийн шатны судлагаанд зориулагдсан.

Энд коксын үлдэгдлийн шаталтын адекват математик загварыг байгуулахдаа үйлчилж буй олон янзын хүчин зүйлүүд ба хязгаарлалтыг тооцож байгуулах, мөн ойролцоолсон аналитик аргачлалаар математик загварыг бодож юуны өмнө нүүрсний хэсэгт агуулагдах нүүрстөрөгчийн шаталтын хугацаа ба хурд гэх мэт параметруудыг тодорхойлох зорилт тавьсан. Төгсгөлийн шатны шаталтын судлагдаж буй загвар нь шаталттай нэгэн зэрэг хийгдэх түлшний хатаалгын тооцооллыг нарийвчлан тооцсон ба гадаргуугийн үнсэн давхарга болон бусад чухал хүчин зүйлүүдийг нэмж тооцсон тул үр дүн нь инженерийн практикт илүү хэрэгцээтэй юм.

7.6.1. Нүүрсний үлдэгдэл хэсгийн хатаалгатай хамт явагдах шатаалт

Өмнө нийтлэгдсэн өгүүлүүдэд [132] нүүрсний хэсгийн шаталтын үе шатуудыг авч үзсэн. Адибатын аргын тусламжтайгаар шаталтын температурын, шаталтын саатлын хугацааны /индукцийн/, шаталтын агшны тодорхойлолтоор ойролцоолсон-аналитик хамаарлуудыг байгуулсан. Шаталт ба ууршилт хамт явагдах горимд нүүрсний хэсгийн үлдэгдэл чийг коксон давхаргад, гадна үнслэг бүрхүүлд байх ба харин анхдагч түлшний дотоод эзлэхүүнд бас үлдэгдэл чийг агуулагдаж байна. Өөрийн химийн бүтцээрээ коксон давхаргын шатамхай хэсэг нь нүүрсүстөрөгч юм. Уг ажилд тавигдсан гол зорилт бол бодлогын онолын бодолтыг шийдвэрлэх ба ингэснээр шатамхай хэсгийн шаталтын хугацаа, анхны түлшний хатаалгын динамик, нүүрсний хэсгийн шатаалтын үргэлжлэлд үнсэн каркасын нөлөөлөл зэрэг чухал параметруудыг тодорхойлох явдал юм. Шатаалтын математик загварчлалд масс солилцооны процесс үндсэн үүрэгтэй болохыг онцлон тэмдэглэж байна. Тухайн бодлогын математик тавилд Д.Б. Сполдингийн монографаас нэршил ба тэмдэглэгээг [64] ашигласан. Иймд гадаргуугаас авагдах нүүрстөрөгчийн массын урсгалын бууралтын дифференциал тэгшитгэлийн хэлбэр нь

$$-\frac{d}{dt} \left[\frac{4}{3} \pi \rho_c (r^3 - r_u^3) \right] \Big|_{r=r_c} = 4\pi r^2 G \Big|_{r=r_c} \equiv w \Big|_{r=r_c}, \quad (7.162)$$

энд: t - хугацаа, с; ρ_c - нүүрстөрөгчийн нягт, кг/м³; r - хэсгийн тухайн радиус, м; r_u - чийглэг хэсгийн доторхи ууршилтийн гадаргуугийн радиус,

m ; r_r – шаталтын гадаргуугийн радиус, м; $G=\rho v$ - массын тухайн нягт, кг/(м²с).

Цааш нь (7.162)-г интегралчлахын тулд нүүрс-устөрөгчийн шаталтын массын хурдыг илэрхийлэх хэрэгтэй. Аналитик хамаарлуудыг гаргахын тулд Шваба–Зельдовичийн загварын [53] дагуу хялбарчлал хийнэ :

- 1) Шатаалт гетерогенбрутто-урвалд харьяалагдана. $C + O_2 \rightarrow CO_2$;
- 2) Хүрээлэх орчинд конвекци байхгүй;
- 3) Хий ба хэсгүүдийн хоорондох дулааны ба динамикийн харилцан үйлчлэл тооцогдохгүй;
- 4) Нүүрсний хэсгийн хүрээлсэн орчин идеаль хийн хольц (O_2, N_2, CO_2) байна.
- 5) Төвийн тэгш хэмт хэсэг бусадтай харилцан үйлчлэхгүй.

Олон компонентын мэдрэх орчны механикийн ерөнхий систем тэгшитгэлээс зөвшөөрөгдөх хялбарчлалыг тооцон:

а) хийн хольцийн масс хадгалах тэгшитгэл:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 G) = 0, \quad (7.163)$$

энд: ρ –хольцийн нягт, кг/м³.

б) хүчилтөрөгчийн концентрацийн хадгалалтын тэгшитгэл:

$$\rho \frac{\partial m_k}{\partial t} + G \frac{\partial m_k}{\partial r} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\Gamma_k r^2 \frac{\partial m_k}{\partial r} \right), \quad (7.164)$$

энд: m_k - хүчилтөрөгчийн тухайн концентраци, кг/м³; $\Gamma_k = \rho D_k$ - диффузийн солилцооны коэффициент, кг/мс.

Систем тэгшитгэлүүд (7.163, 7.164)-т зохих хязгаарын ба анхны нөхцлүүдийг нэмсэн. Өгөгдсөн бодлогод нүүрсний хэсгийн гадаргуу руу хүчилтөрөгчийн массын тухайн зөвхөн диффузиэр $\rho D_k \frac{\partial m_k}{\partial r} \Big|_{r=r_2}$ нөхцлөөр нэвтэрнэ. Тухайн нүүрсний хэсгийн шаталтанд $k \rho m_k \Big|_{r=r_2}$ хэмжигдэхүүний дагуу бүрэн зарцуулагдах ба эцэст нь хязгаарын нөхцлийг гаргана.

$$-4\pi r^2 \rho D_k \frac{\partial m_k}{\partial r} \Big|_{r=r_2} = 4\pi r^2 k \rho m_k \Big|_{r=r_2}. \quad (7.165)$$

энд: k - урвалын хурдны тогтмол, с⁻¹; r_r - шаталтын гадаргуугийн радиус, м.

Хоёрдугаар хязгаарын нөхцлийг дараах балансаас олно. Учир нь стехиометрийн дагуу нүүрсний хэсгийн гадаргуу дээр хүчилтөрөгч нүүрстөрөгчтэй химийн урвалд орж зарцуулагдах тул дараах тэгшитгэлийг гаргана.

$$-\beta \left(4\pi r^2 \rho D_k \frac{\partial m_k}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_2} = 4\pi r^2 G \Big|_{r=r_2}, \quad (7.166)$$

энд: β – стехиометрийн коэффициент.

β хэмжигдэхүүн өөрөө зөвхөн CO_2 үүсгэх O_2 -ын зарцуулалтанд харгалзах 0.375 утгаас зөвхөн CO - г [120] үүсгэх O_2 - т харгалзах 0.75 утга хүртэл өөрчлөгдөж болно.

Анхны нөхцлийн бичлэг:

$$m_k|_{t=0} = m_{k\infty} \quad (7.167)$$

$$r|_{t=0} = r_0. \quad (7.168)$$

Хязгаарын бодлогыг, 7.162 - 7.168 тэгшитгэлүүдийн шугаман бус байдлаас нь шалтгаалан зөвхөн хялбарчилсан нөхцөлд аналитик аргаар бодож болно.

Үнслэг давхаргатай хатаагдсан хэсгийн шаталтын загвар.

Өгөгдсөн горимд үнстэй давхарга нүүрсний хэсгийн гадаргуугаас хаягдах ба цаашид шаталтын процесст оролцохгүй. Шаталтын онолд [64] байнга хэрэглэдэг квазистационар ойртуулалтыг оруулан Стефановскийн урсгалыг тооцохгүйгээр ρD_k -г тогтмол хэмжигдэхүүн гэж тооцон, 7.162 - 7.168-г интегралчилж хүчилтөрөгчийн массын урсгалын илэрхийллийг гаргана.

$$w|_{r=r_2} = \frac{\pi\beta\rho r_2 D_k m_{k\infty}}{2 \left(1 + \frac{D_k}{kr_2}\right)} \quad (7.169)$$

7.169-г ашиглаж, дифференциал тэгшитгэл (7.162)-ийг бодохын тулд хатаалгын хурд ба шаталтын хурдны хоорондын нэмэлт холбоог олох шаардлагатай. Энэ зорилгоор квазистационар ойртуулалтын нөхцөлд фазын өөрчлөлтийн хөдөлгөөнтэй хязгаарууд дээрхи шаардлагуудыг зөвшөөрнө. Үр дүнд нь:

- Хатаалгын гадаргуу дээр:

$$-r_u^2 \frac{dr_u}{dt} = \frac{\lambda_2}{H_2 \rho_2} \frac{T_c - T_u}{\frac{1}{r_u} - \frac{1}{r_2}} \quad (7.170)$$

- Шаталтын гадаргуу дээр:

$$-r_c^2 \frac{dr_c}{dt} = \frac{\lambda_1}{H_1 \rho_1} \frac{T_c - T_u}{\frac{1}{r_u} - \frac{1}{r_2}} \quad (7.171)$$

Эцэст нь дифференциал тэгшитгэл (7.162)-г бодож болох хамаарлыг гаргасан.

$$-r_u^2 \frac{dr_u}{dt} = \frac{H_1 \rho_1}{H_2 \rho_2} r_c^2 \frac{dr_c}{dt} \quad (7.172)$$

Тэгшитгэл 7.172-г 7.162-т орлуулан хувьсахуудыг ялган интегралчилж илэрхийллийг гаргана.

$$t_{\text{былз}} - t_3 = \frac{\rho_c \left(1 + \frac{H_1 \rho_1}{H_2 \rho_2}\right)}{3\beta\rho D_k m_{k\infty}} r_0^2 \left(\frac{1 - R_c^3}{R_c}\right) \left(1 + \frac{D_k}{kr_0 R_c}\right) \quad (7.173)$$

энд: $t_{\text{былз}}$ - үнсэн давхаргыг тооцоогүй шаталтын хугацаа, c ; t_3 - шаталтын хугацаа, c ; Тэгшитгэл (7.173)-ын бодолтоос ($t_{\text{былз}}$) -ын хувьд хоёр хязгаарын илэрхийлэл гарах бөгөөд тэдгээр нь $\frac{D_k}{kr_0 R_c} \ll 1$ ба $\frac{D_k}{kr_0 R_c} \gg 1$ юм.

Нэгдүгээр тохиолдлын хувьд:

$$t_{\text{былг}} - t_3 = \frac{\rho_C \left(1 + \frac{H_1 \rho_1}{H_2 \rho_2}\right)}{3\beta \rho D_k m_{k\infty}} r_0^2 \left(\frac{1-R_c^3}{R_c}\right), \quad (7.174)$$

(7.174)-т төгсгөлийн шатны шаталтын хугацаа хэсгийн анхны хэмжээсийн квадратад пропорциональ учир Д.Б. Сполдинг [64] энэ нь шаталтын диффузийн горимийн шинжтэй, гэж тодорхойлжээ.

Хоёрдугаар тохиолдлын хувьд:

$$t_{\text{былг}} - t_3 = \frac{\rho_C \left(1 + \frac{H_1 \rho_1}{H_2 \rho_2}\right)}{3\beta \rho m_{k\infty} k} r_0^2 \left(\frac{1-R_c^3}{R_c^2}\right) \quad (7.175)$$

Нүүрсний хэсгийн анхны хэмжээнээс шаталтын хугацааны шугаман хамаарлаас 7.175-р тэгшитгэлийг гарган авах ба Л.Н. Хитрин [53]-ны төсөөллөөр сүүлчийнх нь шатаалтын кинетик горимд тохирч байна.

Үнсэн бүрхүүл нь хадгалагдсан, хатаагдсан нүүрсний хэсгийн шатаалтын загвар.

Үнсэн бүрхүүл хангалттай бөх бат ба нүүрсний хэсгийн улайссан гадаргуу дээр үнсэн давхарга тогтож баригдаж байх үед нүүрсний хэсгийн шаталтын горим ямар байхыг авч үзье. Үнсэн давхарга хүчилтөрөгчийн нэвчилтэнд нэмэлт эсэргүүцэл болдог. Судалгааны бүтээл [57]-д тэмдэглэсэн онцлогуудыг тооцож, үнсэн бүрхүүлийг хадгалж, коксын хэсгийн шаталтын хамгийн энгийн загварыг байгуулсан ба уг загварт нүүрстөрөгчийн гадаргууд хүчилтөрөгч хүргэж өгөх ерөнхий хурд нь эрчимтэй хий солилцооны эсэргүүцэл, үнсэн давхаргын нэвчилтийн эсэргүүцэл, гадна нэвчилтийн эсэргүүцэл зэргээс хамаардаг.

$$\frac{1}{\alpha_\Sigma} = \frac{1}{k_{p,z}} + \frac{1}{\alpha_{z,c}} + \frac{1}{\alpha_0}, \quad (7.176)$$

энд: α_0 - үнсэн давхаргад орох хүчилтөрөгчийн диффузийн хурд, м/с; $\alpha_{z,c}$ - үнсэн давхарга дундуур өнгөрөх хүчилтөрөгчийн нэвчилтийн хурд, м/с; α_Σ - коксын үлдэгдэлд хүчилтөрөгчийг хүргэх нийлбэр хурд, м/с; $k_{p,z}$ - эрчимтэй хий - солилцооны коэффициент, м/с.

Тэгвэл нимгэн үнсэн давхаргыг тооцож гаргасан шаталтын бүрэн хугацаа нь үнсэн давхаргыг тооцоогүй ($t_{\text{былг}}$) хугацаа ба шатаалтын саатлын хугацааны $t_{3,c}$ нийбэрээр илэрхийлэгдэнэ.

$$t_\Sigma = t_{\text{былг}} + t_{3,c}, \quad (7.177)$$

Судлаач [57]-д хэмжигдэхүүн $t_{3,c}$ -г дараах илэрхийллээр тодорхойлсон байна.

$$t_{3,c} = \frac{100-A^c}{100} \frac{\rho_k d_0^2}{24\beta m_{k\infty} D_{k,i}}, \quad (7.178)$$

энд: $D_{k,i} = D_k \rho \varphi$, анхны ойртуулалтаар туршилтын коэффициент φ -г 0.6–0.75 хооронд авч болно.

Дотоод сүвэрхэг хэсгийн урвалийн тооцоо. Ерөнхийдөө нүүрстөрөгч хүчилтөрөгчтэй урвалд орох нь нүүрсний хэсгийн коксон гадаргуу дээр ч мөн хэсгийн доторхи нүх сүвүүдэд ч явагддаг. Иймд Л.Н. Хитрины [53] гаргасан эрчимтэй хий-солилцооны параметруудыг ашиглаж болно.

$$k_{p,z} = k + \left(ctg \lambda r_{C,o} - \frac{l}{\lambda r_{C,o}} \right) \lambda D_i \quad (7.179a)$$

Энд нэгдүгээр гишүүн k хэсгийн гадаргуу дээрхи хүчилтөрөгчийн зарцуулалтыг илэрхийлэх ба харин хоёрдугаар гишүүн нь $\left(ctg \lambda r_{C,o} - \frac{l}{\lambda r_{C,o}} \right) \lambda D_i$ - хэсгийн доторхи сүвүүд дэх түүний зарцуулалтыг $\lambda = \left(\frac{k_i}{D_i} \right)^{1/2}$ тодорхойлно.

Шатаалтын тооцооны дээрхи гаргасан хамаарлуудыг эрчимтэй хий солилцооны параметрыг $k_{p,r}$ оруулан зохих ойролцоололтойгоор дотоод урвалжыг тооцоход ашиглаж болно. 7.179 томъёог дахин хялбарчлавал $\lambda r_{C,o} < 0.5$ үед:

$$k_{p,z} \cong k \left(1 + \frac{F_i r_{C,o}}{3} \right), \quad (7.179б)$$

$0.5 < \lambda r_{C,o} < 50$ байхад:

$$k_{p,z} \cong k + \sqrt{k_i D_i F_i}, \quad (7.179в)$$

$\lambda r_{C,o} > 50$ байхад:

$$k_{p,z} \cong k.$$

7.6.2. Хатсан коксын үлдэгдлийн шаталт

Төгсгөлийн шатанд хатсан коксын үлдэгдлийн бүрэн шаталт явагдана. Өмнөх бүлэгт оруулсантай адил нүүрсний хэсгийн шаталтын горимыг дараах хоёр загвараар авч үзье. Энэ нь хэсгийн гадаргуугаас үнсэн бүрхүүл агшин зуур үлээгдэх, тогтвортой, бөх үнсэн давхаргын загвар байх юм. Коксын үлдэгдлийн гадаргуугаас буурах массын тэгшитгэлийг коксын үлдэгдлийн анхны радиусаас $r_{C,o}$ интегральчлавал:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{4\pi}{3} \rho_C r^3 \right) \Big|_{r=r_z} = w \Big|_{r=r_z} \quad (7.180)$$

Нүүрстөрөгчийн нягт $\rho_C = \rho_{C,o} \frac{100-A^C}{100}$ хамаарлаар тодорхойлогдох ба харин коксын үлдэгдлийн нягт $\rho_{C,o} = \rho_y \frac{100-W^P-V^P}{100}$ илэрхийлэгдэнэ. Эцэст нь анхны радиустай коксын үлдэгдлийн бүрэн шаталтын хугацааг тодорхойлъё:

$$t_{\text{выг}} - t_3 = \frac{l}{3\beta \rho_{m_{\infty}}} \frac{\rho_C}{D_k} r_{C,o}^2 \left(1 + \frac{D_k}{k r_{C,o}} \right), \quad (7.181)$$

Хоёр хязгаарын тохиолдолд бодолт (7.181) хялбарчлагдана.

Тухайлбал: $\frac{D_k}{kr_{C.o}} \ll 1$ бол:

$$t_{\text{вызл}} - t_3 \cong \frac{1}{3\beta} \frac{\rho_C}{\rho_{m_{\text{ко}}}} \frac{r_{C.o}^2}{D_k}, \quad (7.182)$$

Энэ нь шаталтын нэвчилтийн механизмын шинжтэй, $\frac{D_k}{kr_{C.o}} \gg 1$ бол (7.181) –с:

$$t_{\text{вызл}} - t_3 \cong \frac{1}{3\beta} \frac{\rho_C}{\rho_{m_{\text{ко}}}} \frac{r_{C.o}}{k_k}, \quad (7.183)$$

Энэ нь шаталтын кинетик горимд хамаарагдана.

Хатуу үнсэн бүрхүүлтэй нөхцөл дэх коксын үлдэгдэл шатах загвар.

Тогтвортой үнсэн бүрхүүтэй үеийн шаталтын загварыг ашиглья. Энэ үед коксын гадаргууд хүчилтөрөгчийг хүргэх эцсийн хурд нь эрчимтэй хий-солилцооны эсэргүүцэл, үнсэн бүрхүүлийн нэвчилтийн эсэргүүцэл, орчны нэвчилтийн эсэргүүцлээс хамаарна. Өөрөөр хэлбэл томъёо (7.176) хүчин төгөлдөр юм. Коксын үлдэгдлийн шаталтын бүрэн хугацаа (7.177) томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

Томъёогоор бодож гаргасан тооцооны өгөгдлүүдийг бусад судлаачдын туршилтын үр дүнгүүдтэй харьцуулсан байдал.

Энэ ажилд онолын аналитик аргаар гаргасан үр дүнг хатаасан коксын үлдэгдлийн бүрэн шаталтын үеийн туршилтын өгөгдлүүдтэй харьцуулахад корреляцийн хамаарлыг сонгосон болно [57].

$$t_{z.C} = 2.21 \cdot 10^8 k_{z.C} \frac{100 - A^c}{100} \frac{\rho_C d_{C.o}^2}{T_z^{0.9} \mu_{O_2}}, \quad (7.184)$$

Шивээ-Овоогийн Б2 ангилалын 1000 мкм хэмжээтэй хүрэн нүүрсний хуурай коксын үлдэгдлийн шаталтын нийт хугацаа шаталтын температур 900 °С ба хүчилтөрөгчийн концентраци 21 %, үед 2,45 секунд байв. Энэ үзүүлэлт нь Канск-Ачинскийн Б2 ангилалын хүрэн нүүрсний туршилтын өгөгдөлтэй (2,7с) [57] тохирч байгаа учир бидний дэвшүүлсэн загварыг хэрэглэх боломжтойг батлаж байна.

Нүүрсний хэсгийн шаталтын онолд голчлон шугаман биш математик загвар хэрэглэдэг тул аналитик шинжилгээний арга судлаачдын сонирхолыг иүүтэй татдаг. Коксын үлдэгдлийн шаталтын энгийн бодлогыг ойртуулан дөхүүлэх аргаар бодоход ч зөвхөн хүчтэй хялбарчлал хийсэн нөхцөлд боломжтой юм. Энд Шваба–Зельдовичийн схемийн хувьд зөвшөөрөгдсөн төсөөллийг тооцож, квазистационар ойролцооллын хүрээнд коксын хэсгийн шаталтын бүрэн хугацааг тодорхойлсон. Мөн галлагааны нөхцөлд үнсэн бүрхүүл, нүүрсний хатаалга, дотоод сүвэрхэг хэсэг дэх урвал ба хүчилтөрөгчийн концентраци зэрэг хүчин зүйлс шаталтын параметрт хэрхэн нөлөөлдөг

болохыг шинжилсэн. Онолын хамаарлуудаар бодож гаргасан тооцоог Бабия ба бусад судлаачдын хийсэн коксон хэсгийн шаталтын туршилтын дүнд гаргасан үзүүлэлтүүдтэй харьцуулан үзэхэд тооцооны үр дүн хангалттай тохирсон болохыг илэрхийлж байна.

Дээрх бүгдээс үндэслэн дараах дүгнэлтүүдийг гаргаж болох юм. Үүнд:

1. Өндөр температуртай хийн орчны үйлчлэлээр явагдаж буй нүүрсний хэсгүүдийн халалт нь тэдгээрийн гадаргуу дээрхи температур фазын шилжилтийн (чийг-уур) температурт хүрэх агшинд дуусдаг. Судлаачдын зүгээс нүүрсний хэсгийн халалтын шугаман биш математик загварын шинжилгээг хийсэн. Гэхдээ шугаман биш байдлыг нь хязгаарын нөхцөлд хандуулж авсан (цацраг-конвекцийн халаалт) гэх мэтээр. Асимптотик аргаар харьцангуй энгийн илэрхийллүүдээр (томъёо 7.34, 7.35) тодорхойлогдох ойролцоолсон аналитик бодолтуудыг гаргасан. Шинжилгээний дүнд гаргасан шийдүүдийг шугаман бодлогуудын сайн нарийвчлалтай шийдүүдтэй харьцуулахад дээрхи гаргасан томъёонуудыг инженерийн практикт хэрэглэх боломжтойг илэрхийлж байна. ШО-гийн уурхайн нүүрсний янз бүрийн хэмжээстэй хэсгүүдийн хувьд температурын хүчдэлийн судалгаанууд хийгдсэн байдаг. Тухайлбал, нүүрсний хэсгүүдийн хувьд суналтын бат бөхийн хязгаарыг, мөн тэдгээрийн бөөгнөрөл, дагтаршсан байдлын нөхцөл ба эвдрэлийн хязгаар зэргийг тодорхойлсон байдаг.

2. Уг ажилд чийгийн үлдэгдэлтэй нүүрсний хэсгийн хатаалтын процессыг, Стефаны шингэн-уур хувиралын хөдөлгөөнт фронт бүхий шугаман биш бодлогын бодолтоор шинжилсэн. Дулаан өгөлтийн нэгдмэл хууль ба тархмал параметруудтай хэсэгт дулаан зөөгдөх процессын математик загварын хувьд хатаалтын хугацааны ба хурдны тооцоогоор температурын орны ба дулааны урсгалын аналитик ойролцоолсон хамаарлуудыг гарган авсан (7.79-7.81) ба тэдгээр хамаарлуудын тусламжтай хийсэн тооцоонуудаас үзэхэд үлдэгдэл чийгтэй нүүрсний хэсгийн хатаалтын үед ууршилтын гадаргуугийн харьцангуй гүнзгийрэлт нь шаталт эхлэхээс өмнө 25%-с ихгүй байна.

3. Дулааны урсгалын алгуур ба эрчимтэй үйлчлэлийн үеийн хоёр горимын хувьд эндо-дулааны үр дүнгийн нөлөөлөл илүүтэй түлшний хэсгийн нэрэлтийн физик-математик загварыг боловсруулсан. Дулааны квазистационар байдлын ба стационар биш температурын орны хугацааны асимптот маягийн задаргааны баримтлал дээр үндэслэгдсэн ойролцоолсон аналитик аргаар нэрэлтийн шугаман биш дифференциал тэгшитгэлийг бодсон. Бодолтыг ойролцоолсон аналитик хамаарал (7.114)-г гаргах хүртэл хийснээр, түлшний дэгдэмхий бодисын гаралтын динамикт нөлөөлөх физикийн ба горимын параметруудын нөлөөллийн бүх талын судалгааг гүйцэтгэх боломж биелэгдсэн. Хатуу түлшний хэсгийн хэмжээнээс хамааралтайгаар дэгдэмхий бодисын гаралтын

хугацааг тодорхойлсон томъёог ашиглан хийсэн тооцоонууд, туршилтаар гаргасан үзүүлэлтүүдтэй хангалттай давхцаж байна.

4. Нүүрсний хэсгийн температурын орны хувьд цацраг-конвекцийн үйлчлэлийн горимд судлаачдын боловсруулсан асимптотик задаргааны аргыг ашиглан адиабат онолын үндсэн дээр шаталтын процессын ойролцоолсон аналитик параметруудыг (7.161) гаргасан. Уг хамаарлуудаар тооцоолсон өгөгдлүүдийг тоон интегралчлалын үр дүнтэй харьцуулсан нь инженерийн практикийн хувьд хангалттай давхцаж буйг илтгэж байна.

5. Шваба-Зельдовичийн схемын хувьд зөшөөрөгдсөн хязгаарлалтыг тооцон квазистационар ойролцоололтын хүрээнд, шаталт тогтмол хурдтай явагдах үеийн коксон хэсгийн шатаалтын бүрэн хугацааг олсон. Мөн галлагааны нөхцөлд үнсэн бүрхүүл, нүүрсний хатаалга, дотоод сүвэрхэг хэсэг дэх урвал ба хүчилтөрөгчийн концентраци зэрэг хүчин зүйлс шаталтын параметрт хэрхэн нөлөөлдөг болохыг шинжилсэн. Онолын хамаарлуудаар бодож гаргасан тооцоог коксон хэсгийн шаталтын туршилтын дүнд гаргасан үзүүлэлтүүдтэй харьцуулахад тооцооны үр дүн хангалттай сайн тохирсон болно.

8. ШИВЭЭ-ОВООГИЙН НҮҮРС ТҮЛЖ БУЙ Е-420-140 МАЯГИЙН ЗУУХЫГ ШИНЭЧЛЭХ ДУЛААНЫ ТООЦОО

Шивээ-Овоогийн уурхай нь манай улсын сайн чанарын хүрэн нүүрсний болон эрчим хүчний арвин нөөцтэй уурхайнуудын нэг юм. Иймд тус уурхайн нүүрсний ашиглалтын хэмжээг нэмэгдүүлэх нь эдийн засгийн болоод стратегийн чухал ач холбогдолтой юм.

Дан ганц Шивээ-Овоогийн нүүрс төдийгүй бусад уурхайн нүүрсний хэрэглээг байгаль экологид ээлтэй байдлаар шатааж ашиглах хэрэгцээ шаардлага өндөр болж байгаа бөгөөд энэхүү шаардлагыг биелүүлэх гол үндэс нь эргэх буцлах давхаргад тус ордын нүүрсийг шатааж ашиглах явдал бөгөөд ингэснээр үүсч болох экологийн хүндрэлүүдээс сэргийлж чадна.

Дээр хийгдсэн судалгааны ажлуудад үндэслэн Шивээ-Овоогийн нүүрсийг түлж буй БКЗ-420-140 маягийн зуухны дулааны тооцоог хийсэн бөгөөд тооцоог ОХУ-ын эрдэмтэдийн гаргасан, зөвшөөрөгдсөн аргачлалын дагуу хийж гүйцэтгэлээ.

8.1. Түлшний болон зуухны дулааны балансын тооцоо

Зуухны дулааны тооцоог хийхийн өмнө түлшний дулааны тооцоог гүйцэтгэсэн байх шаардлагатай бөгөөд түүнд үндэслэн зуухны дулааны балансын тооцоог гүйцэтгэнэ. Доорх хүснэгтэд Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний үзүүлэлтийг харуулав.

Хүснэгт 8.1

Шивээ-овоогийн нүүрсний үзүүлэлт

№	Нүүрсний шинж чанар	Тэмдэглэгээ	Нэгж	Үзүүлэлт
1	Ажлын чийглэг	W ^P	%	43.6
2	Ажлын үнслэг	A ^P	%	4.28
3	Хүхрийн агууламж	S ^P	%	0.18
4	Нүүрстөрөгчийн агууламж	C ^P	%	22.4
5	Устөрөгчийн агууламж	H ^P	%	3.77
6	Азотын агууламж	N ^P	%	0.22
7	Хүчилтөрөгчийн агууламж	O ₂ ^P	%	25.55
8	Дэгдэмхий эдийн агууламж	V ^r	%	50.09
9	Дулаан гаргах доод чадвар	Q _H ^P	ккал/кг	3138

Нэгж масстай түлшийг шатаахад үүсэх шаталтын бүтээгдэхүүний онолын тооцоог доорх хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 8.2

1 Кг нүүрс шатаахад үүсэх шаталтын бүтээгдэхүүний онолын тооцоо

№	Тооцох хэмжигдэхүүн	Тэмдэглэгээ	Нэгж	Тооцоо
1	Түлшний шилжүүлсэн нүүрстөрөгчийн хэмжээ	K^P	%	22.47
2	Шаталтанд шаардлагатай онолын агаарын хэмжээ	V_B^o	нм ³ /кг	2.146
3	Түлшний шаталтаас үүсэх азотын онолын эзэлхүүн	$V_{N_2}^o$	нм ³ /кг	1.697
4	түлшний шаталтаас үүсэх усны уурын онолын эзэлхүүн	$V_{H_2O}^o$	нм ³ /кг	0.99
5	Утааны хий дэх гурван атомт хийн эзэлхүүний доль	V_{RO_2}	-	0.42

8.2-р хүснэгтэд үзүүлсэн онолын тооцооны дараа шаталтын бүтээгдэхүүний онолын энтальпийн хүснэгтэд тулгуурлан агаарын болон шаталтын бүтээгдэхүүний энтальпийн хүснэгтийг гарган авах ба түүнд тулгуурлан утааны хийн зам дагуух халах гадаргуу дахь шаталтын бүтээгдэхүүний бодит энтальпийн хүснэгтийг гарган авна.

Сүүлд гарган авч буй энэ үзүүлэлтэд тулгуурлан зуухны дулааны балансын тооцоо, галын хотлын тооцоо гэх мэтчилэн тооцоог хийж гүйцэтгэнэ. Дараах хүснэгтэд зуухны дулааны балансын тооцоог үзүүлэв.

Хүснэгт 8.3

Зуухны дулааны балансын тооцоо

№	Хэмжигдэхүүний нэр	Тэмдэглэгээ	Нэгж	Тооцоо
1	Түлшний байж болох дулаан	Q_{HP}	ккал/кг	3138
2	Утааны хийн температур	ϑ_{yx}	°C	140
3	Утааны хийн энтальпи	l_{yx}	ккал/кг	185.007
4	Хүйтэн агаарын температур	t_{XB}	°C	30
5	Хүйтэн агаарын энтальпи	l_{XB}	ккал/кг	20.383
6	Утааны хийтэй алдагдах дулааны алдагдал	q_2	%	4.968
7	Химийн дутуу шаталтын дулааны алдагдал	q_3	%	0
8	Механикийн дутуу шаталтын дулааны алдагдал	q_4	%	0.500
9	Хүрээлж буй орчиндоо алдагдах дулааны алдагдал	q_5	%	0.300
10	Шаарга дахь үнсний доль	$a_{шл}$	-	0.050
11	Шингэн шааргын температур	$t_{шл}$	°C	600

12	Үнсний энтальпи	$(C\theta)_{эл}$	ккал/кг	133.800
13	Шааргад алдагдах дулааны алдагдал	q_5	%	0.009
14	Дулааны алдагдлуудын нийлбэр	Σq	%	5.777
15	Зуухны агрегатын АҮК	$\eta_{ку}$	%	94.223
16	Хурц уурын даралт	$P_{пп}$	ата	140
17	Хурц уурын халуун	$t_{пп}$	°С	560
18	Хурц уурын энтальпи	$I_{пп}$	ккал/кг	833.200
19	Тэжээлийн усны температур	$t_{пв}$	°С	230.000
20	Тэжээлийн усны энтальпи	$I_{пв}$	ккал/кг	236.500
21	Зуухны агрегатад ашигласан дулаан	$Q_{ка}$	ккал/ц	250614000.000
22	Түлшний бүрэн зарцуулалт	B	кг/ц	84760.843
23	Түлшний тооцоот зарцуулалт	B_p	кг/ц	84506.561
24	Дулаан хадгалалтын коэффициент	ϕ	-	0.997

Зуухны галын хотлын тооцоог гүйцэтгэхийн өмнө энгийн буцлах давхаргатай зуух болгох, эсвэл эрчимжсэн буцлах давхаргатай тооцоолох эсэхийг шийдэх шаардлагатай болно. Түүний сонголтын тооцоог энд оруулаагүй бөгөөд тус зуухыг эрчимжсэн-эргэх буцлах давхаргатай болгон шинэчлэх шаардлагатай болсон бөгөөд эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий ЭрБҮШ-420-140 маягийн зуухны буцлах давхаргын аэродинамикийн тооцоог доор хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 8.4

Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий ЭрБҮШ-420-140 маягийн зуухны

Буцлах давхаргын аэродинамикийн тооцоо

№	Хэмжигдэхүүний нэр	Тэмдэглэгээ	Нэгж	ЗУУХНЫ АЧААЛАЛ (доль-г _з)				
				0.7	0.8	0.9	1	1.1
1	Агаар хуваарилах соплон дахь нүхний диаметр	$d_{отв}$	мм	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
2	Нэг соплон дахь нүхний тоо	m	ш	6	6	6	6	6
3	Нэг нүхний хөндлөн огтлолын талбай (Агаар гарах хэсгийн талбай)	F	м ²	5.024E-05	5.024E-05	5.024E-05	5.024E-05	5.024E-05
4	Нэг соплоны агаар үлээх огтлолын талбай	F_k	м ²	0.00030144	0.00030144	0.00030144	0.00030144	0.00030144
5	Агаар хуваарилуурийн тоо	k	ш	2824	2824	2824	2824	2824
6	Зуухны тухайн ачаалалд шаардлагатай агаарын хэмжээ	V_k	нм ³ /ц	152764.5	174588.0	196411.5	218235.0	240058.5

7	Анхдагч агаарын хэмжээ	r_1	-	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
8	Анхдагч агаарын хэмжээ	V'_e	нм ³ /ц	91658.7	104752.8	117846.9	130941.0	144035.1
9	Галын хотолд өгөх анхдагч агаарын хэмжээ	V'_e	нм ³ /с	25.461	29.098	32.735	36.373	40.010
10	Агаарын урсгалтын хурд	w	м/с	29.91	34.18	38.45	42.73	47.00
11	Нийт агаар хуваарилах соплоны үлээх огтлолын талбай	S	м ²	0.8513	0.8513	0.8513	0.8513	0.8513
12	Агаар хуваарилах соплоны үлээх огтлолын талбайг галын хотлын улны талбайд харьцуулсан харьцаа	j	%	2.0365	2.0365	2.0365	2.0365	2.0365
13	Нэг соплоны голын диаметр	d_c	мм	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
14	Нэг соплоны голын нүхний хөндлөн огтлолын талбай	F_r	м ²	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283	0.00283
15	Нэг агаар хуваарилах соплоны агаар үлээх огтлолын талбайг голын нүхний талбайд харьцуулсан харьцаа	n	-	0.1067	0.1067	0.1067	0.1067	0.1067
16	Агаар хуваарилах соплоны эсэргүүцийн коэффициент	ξ	-	2.105	2.086	2.069	2.054	2.040
17	Агаар хуваарилах улны эсэргүүцэл	ΔH_x	Па	915.380	1184.475	1486.793	1822.059	2190.031
18	Рейнольдсын тоо	Re	-	14954.6	17091.0	19227.4	21363.8	23500.1
19	Материалын хэлбэрийн коэффициент	f_2	-	1.6291	1.6291	1.6291	1.6291	1.6291
20	Галлейн тоо	Ga	-	19620.0	19620.0	19620.0	19620.0	19620.0
21	Улны урт	L	м	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
22	Улны өргөн	B	м	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
23	Улны талбай	S	м ²	41.82	41.82	41.82	41.82	41.82
24	Буцлах давхарга дахь агаарын хурд	w_a	м/с	0.609	0.696	0.783	0.870	0.957
25	Буцлах давхарга дахь халуун агаарын хурд	w_{xa}	м/с	2.616	2.990	3.363	3.737	4.111
26	Буцлах давхарга дахь халуун хийн хурд	w_y	м/с	2.102	2.402	2.703	3.003	3.303
Тооцоог шалгах нь:								

27	Буцлах давхаргад өгөх агаарын зарцуулалт	$V_{БД}$	м ³ /ц	91658.7	104752.8	117846.9	130941.0	144035.1
28	Буцлах давхаргад өгөх агаарын зарцуулалтын зөрүү	$\Delta V_{БД}$	м ³ /ц	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий ЭрБҮШ-420-140 маягийн зуухны булах давхаргын аэродинамикийн тооцооноос үзэхэд 8мм диаметр бүхий 6 нүхтэй 2824 ширхэг агаар хуваарилах сопло суурилуулах шаардлагатай болж байна. Эдгээр соплогоор шаталтанд шаардлагатай нийт агаарын 60% нь галын хотолд орох ба буцлах давхаргад түлшний нэрэлтийн процесс явагдах ба цаашид хоёрдогч агаарын тусламжтайгаар бүрэн шаталт явагдана, гэж тооцсон болно.

Дээрх тооцоонд үндэслэн тус зуухны галын хотлын болон бусад халах гадаргуунуудын тооцоо цааш үргэлжлэх бөгөөд тэдгээрийн дулааны тооцоог гүйцэтгэх аргачлал нь тоосон нүүрсний галын хотлын халах гадаргуу дахь дулааны тооцоотой адил гүйцэтгэгдэнэ.

8.2. Буцаах циклоны тооцоо, буцлах давхаргын хийц

Буцлах давхарга бүхий шаталтын технологийг энгийн буцлах давхарга болон эрчимжсэн буцлах давхарга гэж хоёр ангилдаг талаар өмнө дурдсан билээ. БКЗ-420-140 маягийн зуухыг эрчимжсэн буцлах давхаргад шилжүүлэх ба түүнийг мөн галын хотолд дутуу шатсан коксын үлдэгдлийг буцаан галын хотолд байрла буцлах давхаргад өгөх технологийг эргэх буцлах давхарга гэж нэрлэдэг бөгөөд уг зуухыг эрчимжсэн-эргэх буцлах давхаргатай болгон шинэчлэх шинэ технологийг нэвтрүүлэхээр зорьж байна.

Эргэх буцлах давхарга бүхий зуухны гол онцлог нь галын хотолд дутуу шатсан коксын үлдэгдлийг буцаах зориулалт бүхий циклоноор тоноглогдсон байдгаараа буцлах давхарга бүхий зуухнаас ялгаатай байдаг бөгөөд буцлах давхарга болон эргэх буцлах давхарга бүхий зуухнууд манай улсны эрчим хүчний системд ажиллаж буй станцуудад цөөнгүй ажиллаж байна. Буцлах давхарга бүхий шаталтын технологитой зуухнууд манай улсын ДЦС-3, ДДЦС, ЭДЦС гэх мэтийн станцуудад ашиглагдаж байна. Харин эргэх буцлах давхаргатай зуухнууд нь ДЦС-2, Ухаа-худаг ДЦС гэх мэтийн станцуудад ашиглагдаж байна.

Харин бидний шийдлийг нь боловсруулж буй Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий технологи нь урьд өмнө хийгдэж байгаагүй цоо шинэ технологи болж байгаагаараа онцлогтой юм. Уг технологийн шийдлийн гол онцлог нь эрчимжсэн буцлах давхарга бүхий шаталтын технологитой зууханд галын хотолд дутуу шатсан нүүрснээс

үүссэн коксын үлдэгдлийг буцаан галын хотолд өгөх зориулалттай буцаах циклон суурилуулах явдал юм. Иймд утааны хийд агуулагдах дутуу шатсан коксын үлдэгдлийг буцаах циклоны тооцоог хийж үндсэн хэмжээг тодорхойлох шаардлагатай болж байна.

Хийд агуулагдаж буй хатуу биетийг цэвэрлэх үндсэн 2 арга байдаг бөгөөд тэдгээр нь нойтон болон хуурай аргаар хийг цэвэрлэхэд тулгуурладаг ба бидний тохиолдолд нойтноор буюу усаар барих боломжгүй тул хуурайгаар ялгах аргад тулгуурлана.

Хийг өөрийг нь давхар цэвэршүүлэхэд нойтон аргыг ихэвчлэн ашигладаг. Хуурай аргыг зөвхөн хийг цэвэрлэх буюу хийнээс хатуу биетийг ялгахад ихэвчлэн хэрэглэдэг бөгөөд энэ арга нь харьцангуй өргөн хэрэглэгдэж байна.

Циклон нь хийцийн хувьд цилиндр, конус, дөрвөлжин гэх мэт олон төрлийн хэлбэртэй байх ба тэдгээр нь ашиглагдах техникийн нөхцөл, орон зайн хэмжээ, тоостой урсгалын тоосны концентраци, ямар хийнээс ямар материалыг цэвэрлэж байгаагаасаа хамааран ашиглагдана. Мөн циклоны толгой хэсэг болон орох хоолойн налуугийн өнцгөөрөө ялгагдана. Дараах хүснэгтэд буцаах циклоны тооцоог үзүүлэв.

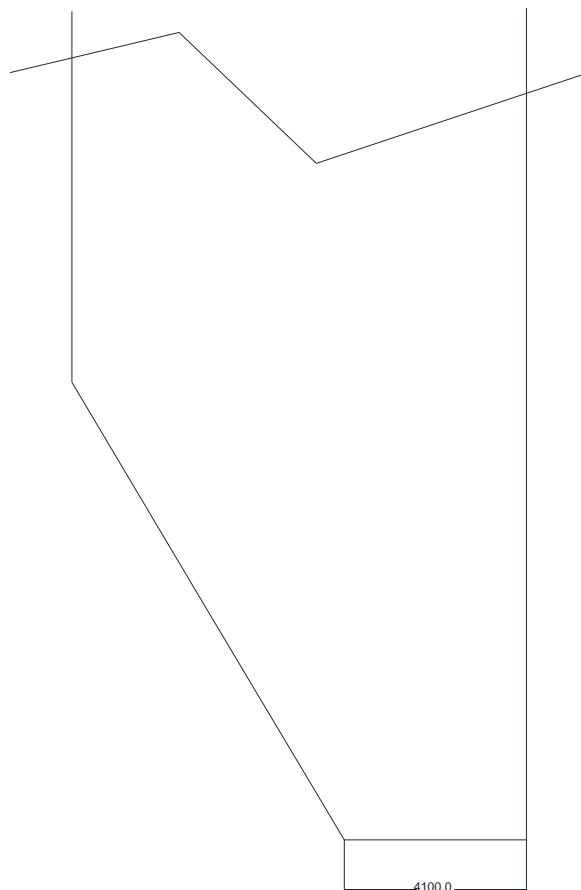
Хүснэгт 8.5

Буцаах циклоны тооцоо

№	Хэмжигдэхүүний нэр	Тэмдэглэл	Нэгж	Тооцоо
1	Түлшний зарцуулалт	B	кг/ц	84760.84
2	Утааны хийн бодит эзлэхүүн	V_r	нм ³ /кг	3.699
3	Илүүдэл агаарын коэффициент	α	-	1.28
4	Циклонд орох хийн зарцуулалт	Q	нм ³ /с	27.87
5	Хийн нягт	ρ_r	кг/м ³	0.318
6	Коксын үлдэгдлийн хэмжээ	d_m	мкм	15
7	Ялгалтын коэффициентийн тархалтын функцийн стандарт хазайлт	$lg\delta_\eta$	-	0.30
8	Утааны хийд агуулагдах хатуу биетийн концентраци	$C_{вх}$	г/м ³	46.28
9	Коксын үлдэгдлийн нягт	$\rho_ч$	кг/м ³	0.60
10	Циклоны АҮК	η	-	0.60
11	Циклон дахь хийн хурд	$\omega_{оп}$	м/с	1.50
12	Циклоны диаметр	$d_{ц}$	м	4.87
13	Нэг зууханд суурилуулах циклоны тоо	n	ш	4
14	Нөөцийн коэффициент	K	-	1.20
15	Циклоны эсэргүүцлийн коэффициент	ξ	-	1800.00
16	Циклоны гидравлик эсэргүүцэл	ΔP	Па	644.29
17	Циклонд шаардагдах цахилгаан чадал	$N_{ц}$	кВт	38.31
18	Циклоноос гарах утааны хийд агуулагдах хатуу биетийн концентраци	$C_{вых}$	г/м ³	18.51

Дээрх хүснэгтээс харахад буцаах циклонд орох коксын үлдэгдлийн хэмжээ 15 мкм, утааны хийд агуулагдах хатуу биетийн концентраци 46,28 г/м³, циклоны АҮК $\eta=0.6$, байх үед циклоны диаметр 4,87 м гарсан ба нэг зууханд 4 циклон суурилуулах юм. Циклоны гидравлик эсэргүүцэл 644,29 Па буюу 65,7 мм.у.б байгаа нь нийт 4 циклоноор үржүүлбэл 262,8 мм.у.б-ын эсэргүүцэл болж байгаа нь ВДН-32 маягийн утаа сорогчийн 6030 Па напорт харьцуулахад утаа сорогч солих шаардлагагүй болох нь харагдаж байна. Мөн ВДН-32 маягийн утаа сорогчийн хөдөлгүүрийн цахилгаан чадал нөөцийн коэффициентийг нэмж тооцоход 900 КВт байдаг ба 1000 КВт чадалтай хөдөлгүүр суурилуулдаг. Эндээс үзэхэд утаа сорогчийг солихгүй тохиолдолд нөөцийн коэффициент маш багасах боловч техникийн нөхцлийг ханган ажиллах боломжтой нь харагдаж байна.

Зуухны доод хэсгийн өөрчлөлтийн схемийг дараах зурагт үзүүлэв.

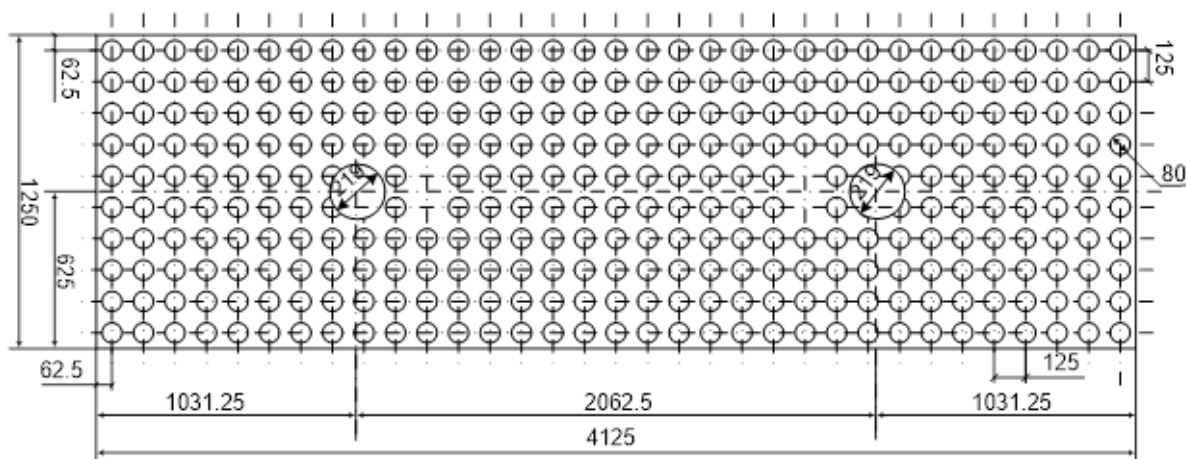


Зураг 8.1. Зуухны галын хотлын доод хэсгийн өөрчлөлтийн схем

Тоосон нүүрсний галын хотлын эрчимжсэн буцлах давхаргад шилжүүлэхэд галын хотлын дээд хэсэгт багахан өөрчлөлт оруулах шаардлагатай болж байна.

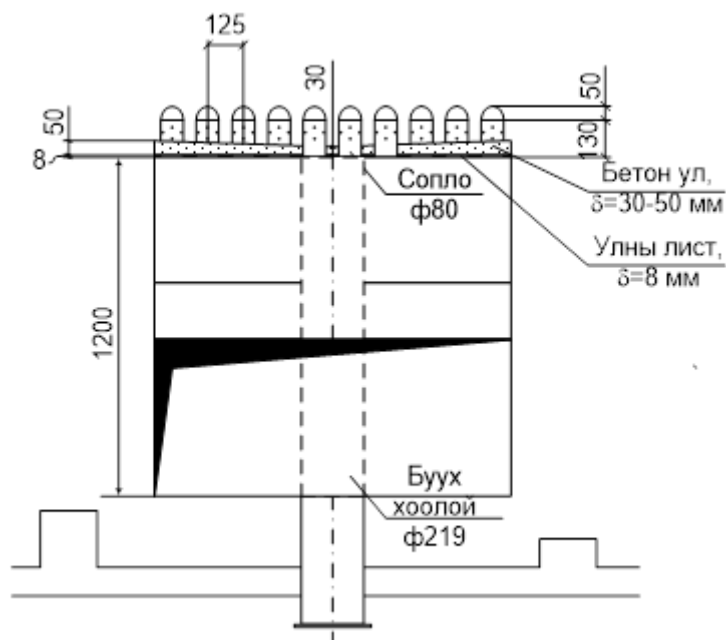
Дээрх тооцоо, судалгаанд үндэслэн зуухны доод хэсгийн өөрчлөлт болон циклоны хийц болон тэдгээрийн шугам хоолойн холболтыг нарийн тооцож ажлын зургийг гаргах шаардлагатай.

Зуухны галын хотлын доод хэсэгт байрлах буцлах давхаргын агаар хуваарилах тавцангийн дээрээс харсан байдлыг 8.2 дугаар зурагт үзүүлэв.



Зураг 8.2. Агаар хуваарилах тавцангийн дээрээс харсан байдал

Дээрх зураг нь 8.4-р хүснэгтэд тооцсоны дагуу буцлах давхаргын агаар хуваарилах тавцангийн өргөнд харгалзах хэмжээгээр, уртыг хэсэгчилэн дээрх зурагт үзүүлэв. Харин агаар хуваарилах тавцангийн нүүрний байрлалыг 8.3 дугаар зурагт үзүүлэв.

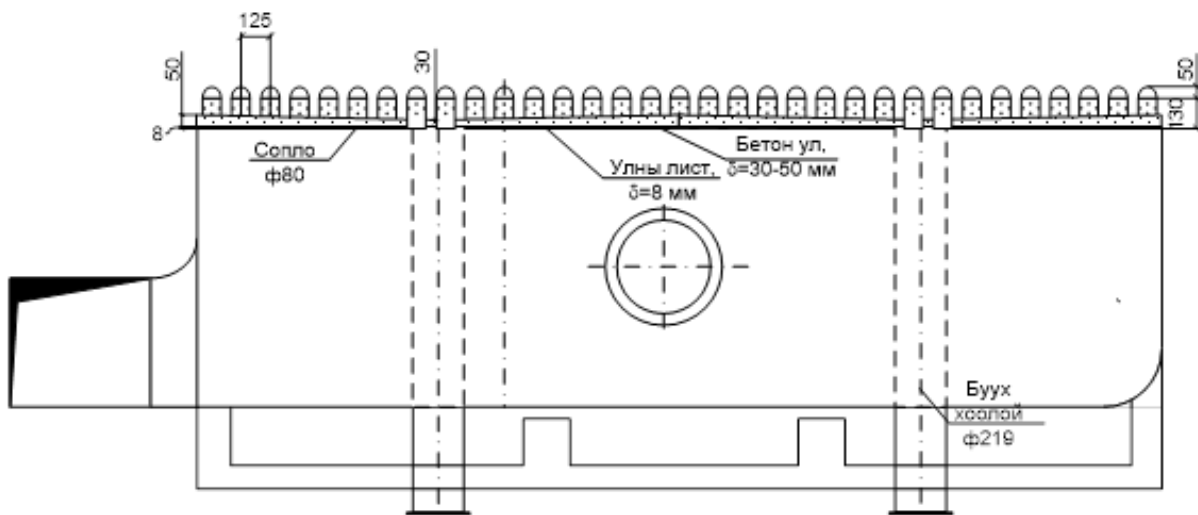


Зураг 8.3. Агаар хуваарилах тавцангийн нүүрний байрлал

Агаар хуваарилах тавцанд тодорхой байрлалуудад инертийн материал болон шлагыг буулгах зориулалт бүхий Ø219 мм диаметр бүхий хоолойнуудыг байрлуулж өгөх

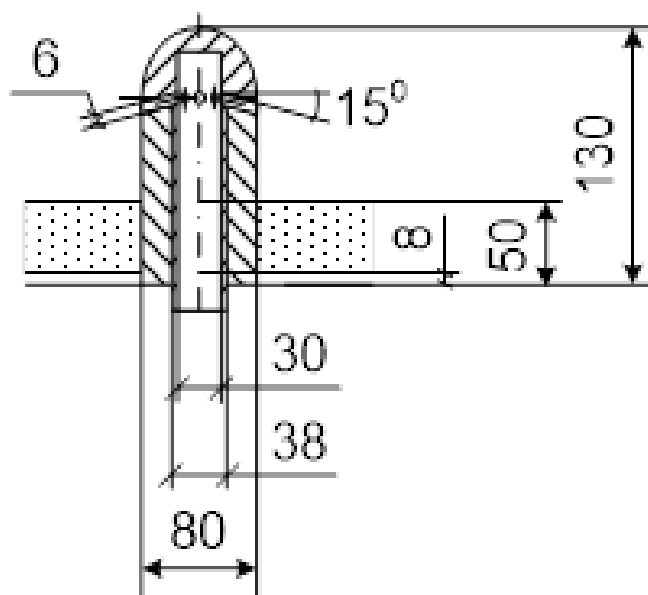
шаардлагатай ба энэ хоолой нь түргэн хааж, нээх боломжтой шибрээр тоноглогдсон байна.

8.4 дүгээр зурагт агаар хуваарилах тавцангийн хажуугийн байрлалаас харагдах байдлаг үзүүлэв.



Зураг 8.4. Агаар хуваарилах тавцангийн хажуугийн байрлал

Эцэст нь агаар үлээх соплоны зургийг дараах 8.5 дугаар зурагт үзүүлэв.



Зураг 8.5. Агаар үлээх сопло

Ашиглалтын туршлагаас үзэхэд угсралтын явцад соплог бага зэрэг хазгай суулгах нь түлшний шаталтын үе дэх буцлалтад маш чухал нөлөө үзүүлдэг болох нь батлагдсан байдаг. Иймд буцлах давхаргад өгч буй агаарыг үлээх соплонуудыг түүнийг суурилуулах тавцанд тэгш өнцөг үүсгэн суурилуулах шаардлагатай.

9. ДҮГНЭЛТ

“Эрчим хүчний үр ашгийг дээшлүүлэх, экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах зорилгоор эргэх буцлах давхаргад Монголын нүүрсийг шатаах технологийн шинэчлэл ба судалгаа” нэртэй гадаадтай хамтарсан төслийн судалгааны ажлыг гүйцэтгэсний дүнд дараах дүгнэлтүүдийг гаргалаа. Үүнд:

1. Ажлын даалгавар биелэлтийн талаар:

- Эрчим хүчний нүүрсний үр ашгийг дээшлүүлэх, экологийн үзүүлэлтийг сайжруулах чиглэлээр хийгдсэн ажлын талаарх материалуудтай танилцаж сан бүрдүүлэв.
- Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрсний физик химийн судалгааг хийж элементийн бүтцийг тодорхойлов.
- Эргэх буцлах давхаргад нүүрсийг шатаах математик загварыг түлшний шаталтын үе шатуудад боловсруулав.
- Тоосон нүүрсний галын хотол бүхий БКЗ-420-140 маягийн зуухыг Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий ЭрБҮШ-420-140 маягийн зуух болгон өөрчлөхөд шаардлагатай дулааны тооцоонуудыг хийж, дутуу шатсан коксын үлдэгдлийг буцаан галын хотолд оруулах циклоны тооцоог хийсэн.

Судалгааны ажлын даалгаварт дурдсаны дагуу дээрх ажлууд хийгдсэн бөгөөд судалгааны ажлыг гүйцэтгэсний дүнд дараах дүгнэлтүүдийг гаргалаа.

1. Монгол улсад эрчим хүч үйлдвэрлэлийн зорилгоор ашиглагдаж буй нүүрснүүд, ялангуяа Шивээ-Овоогийн уурхайн нүүрс нь эрчим хүчний нүүрс болохын хувьд түүнийг олон талаас нь судлах шаардлагатай. Өөрөөр хэлбэл хийжүүлэн ашиглах болон бусад дайвар бүтээгдэхүүнийг ашиглах гэх мэт...
2. Хойшид эрчим хүчний нүүрсний талаар хийгдэх судалгааны ажлуудыг экологийн болон техник, технологийн гаралтай экологийн үзүүлэлтүүдийг хамтад нь түлхүү авч үзэхүйц жишиг судалгааны ажил эрчим хүчний салбарт үгүйлэгдэж байгаа нь ажиглагдлаа.
3. ДЦС-д 2 өөр ордын нүүрс түлэх нь ихээхэн хүндрэл дагуулдаг болох нь батлагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл манай улсын эрчим хүчний системд ажиллаж байгаа ДЦС-уудад Багануур-Шивээ-Овоо, Багануур-Шарын голын ордын Б2, Б3 ангилалын хүрэн нүүрсүүдийг буюу төслийн болон төслийн бус нүүрс түлж байна. Энэ нь зуухны галын хотол дахь түлшний шаталтын эффект харилцан адилгүй байдлаар илэрч байна. Энэ хүндрэлийг арилгах хамгийн хялбар арга нь зуухыг тухайн нэг

ордын нүүрсэнд проектлох бөгөөд төслийн бус нүүрс түлэхээс аль болох зайлсхийх явдал юм.

4. Дээрх 5.15-р хүснэгтээс харахад дэгдэмхий бодисын хэмжээ 3,71...4,22%-аар, үнслэгийн хэмжээ 1,09...2,93%-аар тус тус буурсан бол чийглэгийн хэмжээ - 3,6...4,04%-аар, илчлэгийн хэмжээ 41,92...68,25 кКал/кг-аар тус тус нэмэгдсэн байна. Эдгээр үзүүлэлтийн өөрчлөлтүүд нь зуухны галын хотол дахь шаталтанд хүчтэй нөлөө үзүүлдэг учир нарийвчлан сайтар судлах шаардлага тулгарч байна.
5. Зургаадугаар бүлэгт хийгдсэн судалгааны ажлаас харахад Шивээ-Овоогийн нүүрсийг ДЦС-ын зууханд тоосруулах байдлаар буюу тоосон нүүрсний галын хотолд шатаахдаа шаталтын горимыг сайтар удирдах болон тохируулаагүй тохиолдолд зуухны галын хотолд шааргадалт үүсгэдэг болох нь батлагдаж байна.
6. Долоодугаар бүлэгт хатуу түлшний шаталтын математик загварыг шаталтын үе шатанд харгалзуулан гарган авсан ба эдгээр үе шатуудыг түлшний шаталтын үед агаарын өгөлт буюу аэродинамик процессийн тусламжтайгаар түлшний шаталтыг удирдах боломжтой болох нь харагдаж байна. Мөн уг судалгааны ажлын хүрээнд гарган авсан математик загварууд нь судлаачдын өмнөх гарган авсан загваруудтай үр дүнг харьцуулахад маш сайн тохирч байна.
7. Энэхүү төслийн хүрээнд судалгааны ажил гүйцэтгэсний дүнд Е-420-140 маягийн зуухыг Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхаргад шилжүүлэх нь олон талын ач холбогдолтой болохыг тодорхойлж эл шийдлийг дэвшүүлж байна.
8. БКЗ-420-140 маягийн зуухыг Эрчимжсэн-эргэх буцлах давхарга бүхий ЭрБҮШ-420-140 маягийн зуух болгох техникийн шинэчлэлд шаардлагатай тооцоонуудыг хийж гүйцэтгэлээ.
9. Дээрх тооцоонуудад үндэслэн зуухны галын хотлын доод хэсгийг өөрчлөх болон циклоны байрлал болон шугам хоолойнуудыг холбох холболтын схем болон ажлын зургийг нарийвчлан гаргах шаардлагатай.

10. АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ

1. Х.Энхжаргал. Разработка научных основ создания экологически чистой угольной ТЭС на принципе мультикомплекса, обеспечивающей интеграцию электроэнергетической системы Монголии. Монографии МГУНТ. г. Улаанбаатар, 2013. 323 с.
2. Х.Энхжаргал. Бүтээлийн эмхэтгэл. МУШУТИС. Манай эрдэмтэд бүтээлийн эмхэтгэл. Улаанбаатар хот. 2015 он. 214 х.
3. Эрчим хүч үйлдвэрлэх тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчдийн “Шинэ техник, технологи-үр ашиг”, уулзалт зөвлөгөөний илтгэлүүдийн эмхэтгэл. 2018. 118 х.
4. Теория горения и топочные устройства. Под.ред. Д.М.Хзмаляна. учеб. пособие для вузов. М.: Энергия. 1976. 488 с.
5. Хзмалян Д. М. Теория топочных процессов: учеб. пособие для вузов / Д. М. Хзмалян. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.
6. Д. Мандал. Уурын генератор. Сурах бичиг. Уб. Соёмбопринтинг. 2012. 424 х.
7. Кузнецов.Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Н.В.Кузнецов. М; Л.: Энергия, 1973. 256 с.
8. Нормы расчета и проектирования пылеприготовительных установок. Под.ред. М.Л.Кисельгофа и Н.В.Соколова. учеб. изд. М.: Гос.Энерг.Изд. 1958. 160 с.
9. Монгол орны нүүрсний уурхайнуудын судалгаа, тайлан. АМГТГ. Улаанбаатар хот. 2017.
10. П.Очирбат нар. Монгол улсын нүүрсний аж үйлдвэр XX зуунд. Улаанбаатар. 2002. 240 х.
11. В.Г.Лисиенко, Я.М.Щелоков, М.Г.Ладыгичев. ТОПЛИВО. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование. К-1. М.: Теплотехник. 2004. 604 с.
12. В.Г.Лисиенко, Я.М.Щелоков, М.Г.Ладыгичев. ТОПЛИВО. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование. К-2. М.: Теплотехник. 2004. 832 с.
13. Ч.Дашпунцаг, Д.Хишигсайхан. Нүүрсийг түлш эрчим хүч-технологийн зориулалтаар ашиглах арга зүйн үндэс. Улаанбаатар хот. 2015 он. 185 х.
14. “Төрөөс эрчим хүчний талаар баримтлах бодлого” –УИХ-ын 2015.06.19-ний 63-р тогтоол.
15. Цэцэгмаа А. Шивээ-Овоогийн нүүрсний бүрэлдэхүүн хэсгийн судалгаа. Магистрын зэрэг горилсон бүтээл. ШУТИС, Улаанбаатар хот. 1997 он. 36 х.
16. Одбаяр В. Шивээ-Овоо нүүрсний ордын геологийн тогтоц, нөөцийн загварчлал. Магистрын зэрэг горилсон бүтээл. Улаанбаатар. 2015. 56 х.

17. Энхжаргал Х. Шивээ-Овоогийн нүүрсийг хуйларсан технологиор шатаах судалгаа. Улаанбаатар. 2016. 170 х.
18. Отгончимэг Н. БКЗ-420-140 зуухыг Шивээ-Овоогийн нүүрсэнд шилжүүлснээр бий болсон ашиглалтын үеийн зарим хүндрэл, түүнийг багасгах асуудлууд. Магистрын зэрэг горилсон бүтээл. ШУТИС. УБ. 2010. 100 х.
19. Мөнхтулга Б. БКЗ-420-140 зуухны хурц уурын температурт Багануур, Шивээ-Овоогийн нүүрсний тодорхойломжийн үзүүлэх нөлөөлөл, түүнийг дээшлүүлэх. Магистрын зэрэг горилсон бүтээл. ШУТИС. УБ. 2014. 71 х.
20. Базарваань Н. БКЗ-420-140 зуухыг Шивээ-Овоогийн нүүрсэнд шилжүүлснээр бий болсон ашиглалтын үеийн хүндрэл, түүнийг багасгах арга зам судалгаа. Магистрын зэрэг горилсон бүтээл. ШУТИС. УБ. 2013. 86 х.
21. Мунхтогоо Л., Чулуун Б. Шивэ-Овооское месторождение бурого угля в Восточно-Гобийском аймаке (Отчет о результатах поисковых работ на месторождении, а также предварительной и детальной разведок на участке Шинэ-Ус с подсчетом запасов по состоянию 01.02. 1988 г. – Улан-Батор, Т.1. 1988. – 152 с.
22. ДЦС-4 ТӨХК-ний “БКЗ-420-140 маягийн (зуух №2 и №5) зуухны халах гадаргуугийн шлакдалтын шалтгааныг тогтоож дүгнэлт гаргах дулаан техникийн иж бүрэн туршилт” аж ахуйн гэрээт ажлын тайлан. – Уланбаатар: ШУТИС. ЭХИС, 2008. – 182 х.
23. Enkhjargal Kh., S.Batmunkh, V.V.Salomatov, S.Lyankhtsetseg. Coal Resources of Mongolia, Data on Mines of Baganuur, Shivee-Ovoo and Thermo-Technical Research of Shivee-Ovoo coal /IFOST 2010 Proceedings. Paper ID 3017. IEEE, 2010, – P. 309-313.
24. Заворин А.С., Саломатов В.В., Энхжаргал Х., Батмунх С., Долгих А.Ю., Николаева В.И., Черкашина Г.А. Теплотехнические характеристики углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии //Материалы докладов пятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”.–Томск, 2009. – С.108-109.
25. Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С., Саломатов В.В., Долгих А.Ю. Химический состав и температурные характеристики минеральной части угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии // Энергетика и теплотехника: Сб. Научных трудов / Под ред. акад. РАН В.Е.Накорякова. –Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. –Вып. 16. –С. 67-73.
26. Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С. и др.Теплотехнические свойства бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии // Сб. докладов V-й научно-практ.

- конф. «Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы». – Челябинск, 2011. Т.1. – С.75-77.
27. Макарова А.С., Макаров А.А. Математическая модель для перспективного планирования развития энергосистемы // Электрические станции, 1964, №5. С. 22-27.
 28. Мелентьев Л.А. Сыров Ю.П. Оптимизация развития электроэнергетических систем с использованием математических моделей / Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1966. №5. С3-14.
 29. Беляев Л.С., Ефимов Н.Т., Славин Г.Б., Ханаев В.А. Выбор новых типов и рациональной структуры генерирующего оборудования ЭЭС / Вопросы построения автоматизированных информационных систем управления развитием электроэнергетических систем. Вып. 1: Учет неопределенности исходной информации. Иркутск, 1973. С. 97-109.
 30. Беляев Л.С., Войцеховская Г.В., Савельев В.А. и др. Системный подход при управлении развитием электроэнергетики / Под ред. Л.С.Беляева, Ю.Н.Руденко. Новосибирск: Наука, 1980. 240 с.
 31. Ханаев В.А. Пути повышения маневренности Единой электроэнергетической системы СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1981. 145 с.
 32. Абраменкова Н.А., Воропай Н.И., Заславская Т.Б. Структурный анализ электроэнергетических систем в задачах моделирования и синтеза. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1990. 224 с.
 33. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. Свердловск: УПИ, 1973. 148 с.
 34. Волькенау И.М., Зейлигер А.Н., Хабачев Л.Д. Экономика формирования электроэнергетических систем. М:Энергия, 1981. 320 с.
 35. Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ-ИСЭМ / Отв.ред. Н.И.Воропай. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 2010. 686 с.
 36. Волков Э.П., Баринов В.А. Методические принципы обоснования развития электроэнергетики России в условиях ее либерализации // Изв. РАН. Энергетика, 2006. №6. С. 14-19.
 37. Батхуяг С. Современное состояние и перспективы развития электроэнергетики МНР. М.: инфорросэнерго, 1981. 59 с.

38. Батхуяг С. Научно-методические и практические вопросы разработки стратегии развития энергетики Монголии в новых социально-экономических условиях. Дисс. докт.техн.наук. Улан-Батор, 1997. 235 с.
39. Нуурей Б. Методы и математические модели системного анализа для исследования развития формирующихся электроэнергетических систем (на примере ЭЭС Монголии). Дисс. докт.техн.наук. Иркутск, 1995. 290 с.
40. Андрющенко А.И. Основы термодинамических циклов теплоэнергетических установок. М.: Высш. школа, 1977. 216 с.
41. Левенталь Г.Б., Попырин Л.С. Оптимизация Теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1970. 352 с.
42. Клер А.М., Деканова Н.П., Щеголева Т.П. и др. Методы оптимизации сложных теплоэнергетических установок. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1993. 116 с.
43. Хрилев Л.С., Смирнов И.А. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения. М.: Энергия, 1978. 264 с.
44. Андрющенко А.И., Аминов Р.З. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций. М.: Выс.школа, 1983, 255 с.
45. Щинников П.А., Ноздренко В.Г., Томилов Ю.В. и др. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 528 с.
46. Голованов Н.В., Митор В.В. Освоение и исследование головных малогабаритных парогенераторов с вихревой топкой ЦКТИ // Труды ЦКТИ. Л.: 1975. Вып. 132. С. 3-14.
47. Саломатов В.В. Природоохранные технологии на тепловых и атомных электростанциях: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 853 с.
48. Томилов В.Г. Пугач Ю.Л. и др. Эффективность пылеугольных ТЭС с новыми экологообеспечивающими технологиями. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1999. 97 с.
49. Шульман В.Л. Методические основы природоохранной деятельности ТЭС. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2000. 447 с.
50. Гапеев В.В. Программа ГКНТ “Экологически чистая ТЭС”. Основы проекта // Теплоэнергетика. 1993. №4. С. 5-12.
51. Михайлов Н.М., Шарков А.Т. Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливopодаче электростанций. М.: Энергия, 1972. 264 с.
52. Теплосиловые систем. Оптимизационные исследования / А.М.Клер., Н.П.Деканова., Э.А.Тюрина и др. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 2005. 236 с.

53. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва. М.: Изд-во МГУ, 1957. 442 с.
54. Головина Е.С. Высокотемпературное горение и газификация углерода. М.: Энергоатомиздат, 1983. 319 с.
55. Бухман С. Исследование теплового режима и механизма горения угольных частиц / Третье совещание по теориям горения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 12-15.
56. Essenhigh R. Temperature measurement of burning coal particles // J. Eng. Power . 1963. Vol. 85 A. Pp. 183-190.
57. Shibaoka M. On investigation of the combustion process of single coal particles // J. Inst. Fuel. 1969. No. 42. Pp. 59-66.
58. Бабий В. И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергомтомиздат, 1986. – 208 с.
59. Паркус Г. Неустановившиеся температурные напряжения. М.: Физматгиз, 1963. 465 с.
60. Семенов Н.Н. К теории процессов горения // Журн. рус. физ.-хим об-во. Физика. 1928. Т. 60, №3. С. 241-250.
61. Зельдович Я.Б. Теория зажигания накаливаемой поверхностью // ЖТЭФ. 1939. Т.9. №12. С. 1530-1534.
62. Канторович Б. В. Основы теории горения и газификации твердого топлива. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 600 с.
63. Энхжаргал Х., Саломатов В.В. Математическое моделирование термодготовки и горения угольной частицы. V. Стадия выгорания // ИФЖ. 2011. Т. 84, № 4. С. 836-841.
64. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен. М.: Машиностроение, 1985. 237 с.
65. Цэдэндамба Д. Уголь. Топливная база МНР. Улан-Батор, 1982. 175 с. (Нүүрс, БНМАУ-ын түлшний бааз. Улаанбаатар: ОХГ, 1982 он. 175 х.).
66. Очирбат П. Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Монголии. М.: “Мир горной книги”, Изд-во МГГУ, изд-во “Горная книга”, 2007. 275 с.
67. Очирбат П. Стратегия и экология угольной промышленности. Улан-Батор: Изд. МГУНТ. 2002, 378 с. (Нүүрсний аж үйлдвэрийн стратеги ба экологи. Улаан-баатар, МУШУТИС-ийн хэвлэл, 2002. 378 х.).
68. Краткая информация о месторождениях угля и горючего сланца Монголии. Управление полезных ископаемых и нефти.– Улан-Батор: Центр геологической информации. 2007. 25 с. (Монгол орны нүүрс, шатдаг занарын орд, илрэлийн товч

- мэдээлэл. Ашигт малтмал, газрын тосны хэрэг эрхлэх газар. Улаанбаатар: Геологийн мэдээллийн төв. 2007. 25 х.).
69. Климатический справочник МНР. Том I. Гелиоэнергетический кадастр МНР. Институт метеорологии и гидрологии. Улан-батор: Изд. ГСМС, 1984, 218 с. (БНМАУ-ын уур амьсгалын лавлах, 1 боть, нарны эрчим хүчний кадастр. Ум цаг уурын албаны удирдах газар. УБ. УЦУАУГ-ын хэвлэл, 1984. 218 х.).
 70. Климат Монголии. Улан-Батор: Гос. Изд, 1985. 458 с. (Жамбаажамц Б. Монгол орны уур амьсгал). Улаанбаатар: УХГ, 1985. 458 х.
 71. Г. Пүрэвдорж Монголын нарны эрчим хүчийн нөөцийн үнэлгээ ба эх газрын эрс тэс уур амьсгалын нөхцөлд зохицсон нарны хүлэмжийн судалгаа, түүний оновчтой хувилбарыг боловсруулах. Тех.ухааны.дэд. эрдэмтэн. Улаанбаатар, 1998. 177 с.
 72. Dennis Elliot & George Scott. Wind Energy Resource Atlas of Mongolia // “Монгол орны сэргээгдэх эрчмийн нөөц, түүнийг ашиглах” сэдэвт олон улсын хурлын материал. Улаанбаатар, 2001-04-17. 17...19 х.
 73. Лянхцэцэг С. Исследование по выбору оптимального варианта местных энергетических источников в региональном электроснабжении Монголии. Дисс.канд.техн.наук. Улан-Батор, 2001. 198 с. (Монголын бүс нутгийн цахилгаан хангамжид орон нутгийн эх үүсвэрийг ашиглах оновчтой хувилбар сонгох судалгаа. Дисс.канд.техн.наук. Улаанбаатар, 2001. 198 х.).
 74. Генеральная схема водных ресурсов Монгольской Народной Республики. Мин-во водного хоз-ва МНР, – Улан-Батор, Будапешт: “VIZDOC”, 1975. 418 с.
 75. Народное хозяйство МНР за 60 лет (1921-1981) // Юбилейн. статист. сб. ЦСУ МНР. Улан-Батор: Госиздательство, 1981. 496 с.
 76. Гидроэнергетический кадастр малых рек Монгольской Народной Республики // Отчет НИР. Т.3. Институт метеорологии и гидрогеологии ГУГМС МНР. Улан-Батор, 1985. 100 с.
 77. Монголия в рыночной экономике. Статистический вестник. Улан-батор: Монгольское национальное статистическое управление. 2004. 328 с. (Монгол улс зах зээлд. Статистикийн эмхэтгэл. Улаанбаатар: Монгол улсын үндэсний статистикийн газар, 2004. 328 х.).
 78. Постановление №35 Великого Государственного Хурала “Об утверждении программы деятельности Монгольского правительства на период 2008-2012 годы”. Улан-Батор. 2008.21.11. (Монгол улсны засгийн газрын 2008-2012 оны үлй

- ажлиллагааны хөтөлбөр батлах тухай, Монгол Улсын Их Хурлын 35 дугаар тогтоол, Улаанбаатар хот, Төрийн ордон, 2008 оны 11 сарын 21 өдөр).
79. China Customs / COAL world.net, 2010.02.10.
80. Статистический сборник Монголии. Улан-Батор: Монгольский национальный комитет статистики, 2011. 463 с. (Монгол улсын статистикийн эмхэтгэл. Улаанбаатар: Монгол улсын статистикийн үндэсний хороо, 2011. 463 х.).
81. Uranium resources, production of Mongolia /RED BOOK/, Uranium 2009: Resources, Production and Demand/, a joint report by the OECD Nuclear Energy and International Atomic Energy Agency, 2010, ISBN 978-92-64-04789, 456 pp, S.Enkhbat et al., OECD, IAEA, 276-286, 2010.
82. Долгосрочная программа (мастер-план) развития электро и теплоснабжения. “Электроватт-эконо”, “Хаглер Бейлли сервис инк.”, “М-Си-Эс интернэйшнл” (КОО). Ref. No 200369-У, 2002-VII215. 249 х.
83. Энхтайван Т. Существующее состояние энергетической отрасли Монголии и проблемы развития / Материалы конференции “Энергетическое производство и экология”. Улан-Батор, 2010, С. 10-15. (Эрчим хүчний салбарын өнөөгийн байдал, тулгамдаж буй асуудал, цаашид хэрэгжүүлэх зорилтууд. “Эрчим хүчний үйлдвэрлэл ба экологи” сэдэвт олон улсын эрдэм шинжилгээний бага хурал (илтгэлийн эмхэтгэл). Улаанбаатар, 2010. 10-15-р т.).
84. Баярбаатар Ц. Вопросы энергетического производства и экологическое проблемы / Материалы конференции “Энергетическое производство и экология”. Улан-Батор, 2010, С. 29-32. (Эрчим хүчний үйлдвэрлэл ба экологийн асуудал. “Эрчим хүчний үйлдвэрлэл ба экологи” сэдэвт олон улсын эрдэм шинжилгээний бага хурал (илтгэлийн эмхэтгэл). – Улаанбаатар, 2010. – 29-32-р т.).
85. Монгол улсын хууль “Эрчим хүчний тухай”. 2001 оны 02-р сарын 01-ний өдөр. Монгол улсын засгийн газар. УБ хот.
86. Батхуяг С., Энхжаргал Х. Энергетика Монголии и возможные пути ее интеграции в Энергетику стран АТР. Четвертая Международная конференция ”Энергетическая кооперация в Азии: Межгосударственная инфраструктура и энергетические рынки”. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004.
87. “Монгол улсын эрчим хүчний нэгдсэн систем” хөтөлбөр. Дэд бүтцийн яам. – Улаанбаатар, 2001. – 21 х.

88. Бат-Ундрал Б. Методы комплексного исследования нормальных и послеаварийных режимов электроснабжения с распределенной генерацией. Дисс.канд.техн.наук. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. 118 с.
89. Enkhjargal Kh., Batmunkh S., Salamatov V.V. Modern state and development trends for coal power engineering of Mongolia /Сборник (часть 3) докладов VII Всероссийской конференции с международным участием “Горение твердого топлива”. Новосибирск, 2009. С. 237-241.
90. Эрдэс баялаг, эрчим хүчний салбарын өнөөгийн байдал, цаашдын зорилт. Эрчим хүчний удирдах ажилтны улсын зөвлөгөөн. ЭБЭХЯ-ны сайдын илтгэл. Улаанбаатар хот. 2010.05.14.
91. Energy statistics of Non-OECD countries (2009 edition). International Energy Agency Publications. 2009. 120 p.
92. Энхжаргал Х. Батмөнх С. Лянхцэцэг С. Саломатов В.В. Монголын нүүрсний нөөц, хэрэглээ, Төвийн бүсэд ашиглагдаж буй Багануур, Шивээ-Овоогийн ордын үзүүлэлтүүд ба Шивээ-Овоогийн нүүрсний дулаан техникийн судалгаа. “Эрчим хүчний үйлдвэрлэл ба экологи” сэдэвт олон улсын эрдэм шинжилгээний бага хурал (илтгэлийн эмхэтгэл). Улаанбаатар. 2010. 131-135 х.
93. Монгол улсын статистикийн эмхтгэл. – Улаанбаатар: Монгол улсын статистикийн үндэсний хороо, 2006. – 375 х.
94. Маринов Н.А., Храпов А.А., Ээбум Ч. Чойренский угленосный бассейн в Восточной Монголии // Геология и полезные ископаемые Монгольской Народной Республики. СЭВ. Труды МГЭ в МНР. Вып.1. М.: Недра, 1980. – С.176-182.
95. Мунхтоого Л., Чулуун Б. Шивээ-Овооское месторождение бурого угля в Восточно-Гобийском аймаке (Отчет о результатах поисковых работ на месторождении, а также предварительной и детальной разведок на участке Шинэ-Ус с подсчетом запасов по состоянию 01.02. 1988 г. – Улан-Батор, Т.1. 1988. – 152 с.
96. Мунхтоого Л. Буроугольное месторождение с пластами уникальной мощности // Наука и жизнь. №4. 1987. С. 65-67.
97. Отчет по исследованию зольности угля Шивээ-Овооского месторождения: МГЛ. – Улан-Батор, 2006. – 66 с.
98. Enkhjargal Kh., S.Batmunkh, V.V.Salamatov, S.Lyankhtsetseg. Coal Resources of Mongolia, Data on Mines of Baganuur, Shivee-Ovoo and Thermo-Technical Research of Shivee-Ovoo coal /IFOST 2010 Proceedings. Paper ID 3017. IEEE, 2010, – P. 309-313.

99. Заворин А.С., Саломатов В.В., Энхжаргал Х., Батмунх С., Долгих А.Ю., Николаева В.И., Черкашина Г.А. Теплотехнические характеристики углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии //Материалы докладов пятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”.–Томск, 2009. С.108-109.
- 100.Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С., Саломатов В.В., Долгих А.Ю. Химический состав и температурные характеристики минеральной части угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии // Энергетика и теплотехника: Сб. Научных трудов / Под ред. акад. РАН В.Е.Накорякова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. Вып. 16. С. 67-73.
- 101.Храпов А.А. Особенности тектонического строения Северной Гоби // Стратиграфия и тектоника Монгольской Народной Республики. Совместная советско-монгольская геологическая экспедиция. Труды.Вып. 1. М.: Наука. 1970. – С.132-142.
- 102.Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С., Саломатов В.В., Долгих А.Ю. Некоторые результаты исследования угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии с целью его энергетического использования // Энергетика и теплотехника: Сб: научн. трудов / Под ред. Акад. РАН В.Е.Накорякова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. Вып. 14. С. 125-132.
- 103.Шпирт М.Я., Клер В.Р., Перциков И.З. Неорганические компоненты твердых топлив. –М.: Химия, 1990.– 240 с.
- 104.Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С. и др.Теплотехнические свойства бурых углей Шивэ-Овооского месторождения Монголии // Сб. докладов V-й научно-практ. конф. «Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы». – Челябинск, 2011. Т.1. С. 5-77.
- 105.Тепловой расчет котлов (нормативный метод). –СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
- 106.Алехнович А.И. Шлакование энергетических котлов.–Челябинск: ЧФ ПЭИПК, 2006.-129 с.
- 107.Трембовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия, 1977. 296 с.
- 108.FLUENT User’s Guide Vol. 4.3, Chapter 19 “Theory”, 1995.
- 109.Руководство пользователя ANSYS, 2007.
- 110.Бубенчиков А. М., Старченко А.В, Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах. Томск: Изд-во Тгу, 1998.

111. Гаврилов А.А., Дегтерев А.А., Чернецкий Б.Ю. Использование пакета программ “ σ -Flow” для расчета топочных процессов // Вычислительные технологии. 2000. № 4. С. 56-62.
112. Тихонов А.Н. Об остывании тел при лучеиспускании // Изв. АН СССР. География и Геофизика. 1973. № 3. С. 127-132.
113. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: ГИТТЛ, 1952. С. 392.
114. Теплообмен. Справочник // Под ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982.
115. Энхжаргал Х., Саломатов В.В. Математическое моделирование термодготовки и горения угольной частицы. I. Стадия прогрева // ИФЖ. 2010. Т. 83. № 5. С. 837-846.
116. Делягин Г. Н. Вопросы теории горения водоугольной суспензии в потоке воздуха // Сб. “Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий”. М.: Изд-во АН СССР. 1967. С. 45–55.
117. Григорьев К. А. Математическое моделирование процесса сушки угля // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2000. № 4. С. 119–122.
118. Саломатов В. В. Методы расчета нелинейных процессов переноса тепла. Томск: Изд-во ТГУ, 1978. Ч. 2.-256с.
119. Лейбензон Л. С. Собрание научных трудов. М.: Наука, 1955. Т. 4. С. 368.
120. Энхжаргал Х., Саломатов В.В. Математическое моделирование термодготовки и горения угольной частицы. II. Стадия сушки // ИФЖ, 2011. Т. 84. №2. С. 239-247.
121. Струнников М.Ф. Выход летучих из твердого топлива. - В кн.: Исследование процессов горения натурального топлива / Под ред. Г.Ф. Кнорре. – М. – Л.: ГЭИ, 1948. – С. 108-110.
122. Кашуревич А.П., Чуханов З.Ф. Влияние скорости нагревания топливных частиц на процесс термического разложения их // Докл. АН СССР, 1955. Т. 101. № 1. С. 17-25.
123. Репринцева С.М. Термическое разложение дисперсных твердых топлив. Минск: Наука и техника, 1965. 172 с.
124. Энхжаргал Х., Саломатов В.В. Математическое моделирование термодготовки и горения угольной частицы. III. Стадия выхода летучих // ИФЖ. 2011. Т. 84. № 3. С. 590-597.
125. Гюрджиянц В.М. Пиролиз в процессах горения и теплотехнологиях переработки твердых энергетических топлив. Новосибирск: Изд-во НЭТИ, 1989. 51 с.

126. Саломатов В.В. Методы расчета нелинейных процессов теплового переноса. Ч.1. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. – 246 с.
127. Лейбонзон Л.С. Собр. Соч. М.: Изд-во АН СССР, 1965. Т IV. 71-89 с.
128. Вопросы теории горения. – М: Наука, 1970. – 242 с.
129. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд на будущее / Под ред. Н.И. Воропая, Б.Г. Санеева; Ин-т систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2011. 368 с.
130. Франк-Камнецкий Д.А. Диффузия и теплопередача и теплопередача в химическое кинетике. М.: Наука, 1967. 425 с.
131. Вилунов В.Н. Теория заижения конденсированных веществ. Новосибирск: 1984. 383 с.
132. Энхжаргал Х. Саломатов В.В. Математическое моделирование термодготовки и горения угольной частицы. IV. Стадия сжигания // ИФЖ. 2011. Т. 84, № 4. С 830–835.
133. Волков Э.П., Зайчик Л.И., Першуков В.А. Моделирование горения твердого топлива. М.: Наука, 1994. 320 с.
134. Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред: В.2 т. М.: Наука, 1987.
135. Турчак Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987.
136. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П., Худяков В.А. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: Справочник 5Т.–Т.1: Методы расчета. М: Наука, 1971. 512 с.
137. Magnussen B.F., Hjertager H. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion // Proc. 16th Int. Symp. on Combust. 1976. P. 747-759.
138. Pouranmadi F., Humphrey J.A.C. Modeling solid-fluid turbulent flows with application to predicting erosive wear // Phys.-Chem. Hydrodynamics. - 1983. - V. 4. - № 3. – P. 191-219.
139. Launder P.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.-1974. Vol. 3, № 2. P. 269-289.
140. Elghobashy S.E., Abou-Arab T.W. A Two-Equation Turbulence Model for Two-Phase Flows // Phys. Fluids/ 1983. Vol. 26. № 4. P.931-938. Van Doormaal J.P., Raithby G.D.
141. Nallasamy M. Turbulence models and their applications to the prediction of internal flows: a review// Computers & Fluids. 1987. V. 15, № 2. P. 151-194.

142. Van Doormaal J.P., Raithby G.D. Enhancements of the SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows // Numerical Heat Transfer. 1984. V. 7, №2. P. 147-163.
143. Саломатов В.В., Шарыпов О.В., Ануфриев И.С., Аникин Ю.А., Энхжаргал Х. Физическое моделирование внутренней аэродинамики вихревой топки энергетического парогенератора // Вестник Новосиб. Гос.универ.: Физика. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011. Т. 6, вып.1. С. 60-65.
144. Смит Т.Ф., Шэнь З.Ф., Фридман Д.Н. Вычисление коэффициентов для модели взвешной суммы серых газов // Теплопередача. 1982. Т. 104, № 4. С. 25-32.
145. Меледин В.Г., Аникин Ю.А., Бакагин Г.В. и др. Лазерная доплеровская измерительная система для 2D диагностики газожидкостных потоков ЛАД-05 // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т.5, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С. 343-344.
146. Ануфриев И.С., Аникин Ю.А., Саломатов В.В., Шарыпов О.В., Энхжаргал Х. Экспериментальное исследование структуры закрученных потоков в модели вихревой топки методом лазерной доплеровской анемометрии. Вестник Томского гос.универ.: математика и механика. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. № 2. С. 70-78.
147. Shih T.-H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., and Zhu J. A New $k-\epsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation. Computers & Fluids. Vol. 24(3). 1995. P.227-238.
148. Kim S.-E., Choudhury D. A. Near-Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient. ASME FED Vol. 217, Separated and Complex Flows. ASME, 1995.
149. Machi S., Namba H., Suzuki N. Energy transfer induced oxidation processes in flue gases // Radiation Physics and chemistry. 1985. № 1-3.
150. Crowe C.T., Sharma M.P., Stock D.E. The Particle-Source-In-Cell (PSI-CELL) model for gas-droplet flows // ASME Journal of Fluids Engineering. 1977. Vol. 99, №. 2. P. 325-332.