

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

Жақсыбаев Нұрбол Дулатұлы

«Алюминий электролизі цехының жобасы»

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B070900 – Metallургия мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.,

\_\_\_\_\_ М.Б.Барменшинова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ ж.

Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Алюминий электролизі цехының жобасы»

Мамандығы 5B070900 – Metallургия

Орындаған

Жақсыбаев Н.

Ғылыми жетекші

техн. ғыл. канд., сениор-лектор

\_\_\_\_\_ Г.Ж. Молдабаева

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

5B070900 – Metallургия

**БЕКІТЕМІН**

МжПҚБ кафедра меңгерушісі, техн. ғыл. канд.,  
\_\_\_\_\_ М.Б.Барменшинова  
« » \_\_\_\_\_ 2020 ж.

Дипломдық жоба орындауға  
**ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Жақсыбаев Нұрбол Дулатұлы

Тақырыбы: «Алюминий электролизі цехының жобасы»

Университет Ректорының 2020 жылғы «27» қаңтар № 762-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «18» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берілістері: алюминий өндірісінің мәліметтері, тоқ шығымы, ваннадағы тоқ күші, анодты тоқтың тығыздығы, ваннадағы орташа кернеу, электролиз цехының жылдық өнімділігі

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) кіріспе;

б) өндірістің технологиялық үдірістері мен шешімдері;

в) технологиялық процестің есептеулері;

г) қорытынды.

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс): электролиз ваннасының сызбасы, қосымша жабдықтың сызбасы, цех жоспары мен қимасы

Ұсынылатын негізгі әдебиет 7 атаудан тұрады

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе	11.02.2020 ж.	
Әдеби шолу	25.03.2020 ж.	
Технологиялық бөлім	08.04.2020 ж.	
Металлургиялық есептеулер	15.04.2020 ж.	
Қорытынды	30.04.2020 ж.	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Г.Ж.Молдабаева техн. ғыл. канд., сениор-лектор		
Норма бақылау	А.Н.Таймасова техн. ғыл. магистрі		

Ғылыми жетекші \_\_\_\_\_ Г.Ж.Молдабаева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы \_\_\_\_\_ Н. Жақсыбаев

Күні \_\_\_\_\_ «03 » ақпан 2020 ж.

## АҢДАТПА

Дипломдық жобада алюминий электролизі цехының жобасы қарастырылған.

Ұсынылып отырған жұмыста келесі мәліметтер келтірілген:

- алюминий өндіру технологиясы, электролиз әдісі;
- алюминий өндіру бойынша ғылыми - техникалық ақпаратқа шолу;

Жобаның технологиялық экономикалық есептеулері орындалған.

Есептеулер бойынша технологиялық сызбанұсқалар, кестелер ұсынылған.

## **АННОТАЦИЯ**

В дипломном проекте предусмотрен проект цеха электролиза алюминия.

В предлагаемой работе приведены следующие сведения:

- технология производства алюминия, метод электролиза;
- обзор научно-технической информации по производству алюминия;

Выполнены технологические экономические расчеты проекта.

По расчетам представлены технологические схемы, таблицы.

## **ANNOTATION**

The diploma project includes a project for the aluminum electrolysis shop.

The following information is provided in this paper:

- aluminum production technology, electrolysis method;
- overview of scientific and technical information on aluminum production;

Technological and economic calculations of the project were performed.

According to the calculations, technological schemes and tables are presented.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	
1 Негізгі бөлім	10
1.1 Алғашқы алюминий электролизінің цехы	
1.2 Газды тазалау	13
1.3 Құю бөлімі	14
1.4 Анодтарды монтаждау және демонтаждау бөлімі	15
1.5 Жөндеу бөлімі	16
1.6 Алюминий электролизі процесінің технологиясы	18
2 Жобаның технологиялық шешімі	20
2.1 Алюминий электролиз процесінің технологиялық есептеулер	20
2.2 Конструктивті есептеу	21
2.3 Технологиялық есептеу	23
2.4 Фтор балансы	24
2.5 Фтордың үлес шығыны	25
2.6 Фтордың үлес кірісі	26
2.7 Электролизердің материалдық балансы	28
2.8 Шикізат шығынын есептеу	28
2.9 Негізгі және қосалқы жабдықтарды есептеу	
Қорытынды	32
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	33



## КІРІСПЕ

Аз тығыздық, жоғары жылу өткізгіштік және төмен электр кедергісі, жоғары икемділік және коррозияға төзімділігі, өте жоғары беріктілік қасиеттеріне (әсіресе қорытпаларда) және басқа да бағалы қасиеттерге ие алюминий заманауи техниканың әртүрлі салаларында кең таралған және барлық түсті металдар арасында маңызды рөл атқарады. Ол көптеген жағдайларда басқа металдарды сәтті алмастырады-мыс, қорғасын, мырыш жиі болат орнына пайдаланылады. Оны кеңінен енгізуге барлық түсті металдар арасында ең төмен баға ықпал етеді, сондықтан алюминийдің әлемдік өндірісі өзгеріссіз өсіп келеді және қазіргі уақытта жылына 20 млн. т аса өндіріледі.

Таза техникалық алюминий электротехникада өткізгіш материал ретінде және фольга өндіру үшін қолданылады. Алюминийдің негізгі бөлігі құйма және деформацияланатын қорытпалар түрінде және ұнтақ түрінде салыстырмалы түрде шағын қолданылады. Соңғы онжылдықта алюминий машина жасауда, құрылыс конструкцияларын өндіруде, химия, атом және тамақ өнеркәсібінде қаптама материалы ретінде кеңінен қолданылды.

Алюминий жер қыртысында әр түрлі қосылыстар күйінде көп кездеседі, олар түрлері бойынша шамамен екі топқа бөлінеді: - магма мен туындылардың кристалдануы кезінде пайда болған алғашқы минералдар. Бұл топтағы негізгі рөлде алюминиосиликаттар болып табылады, олардың типтік өкілдері ортоклаз, альбит, лейцит және нефелин болып табылады. Алюминий силикаттары жер қыртысында аз кездесетін - дистен, силлиманит.

Жер қыртысында ауа-райының әсерінен пайда болған екінші реттік алюминий. Бұл алюминий қосылыстарында оксидтің мөлшері жоғарырақ болуымен сипатталады. Олардың ішінде алюминий гидросиликаттары- каолинит және оның түрлері кең таралған. Сонымен қатар алюминий өндірісінің негізгі кені - бокситтің маңызды құрамдас бөлігі болып табылатын гидроксидтер мен гиббситтер, бoеммиттер мен диаспоралар кеңінен таралған. Алунит сонымен қатар өнеркәсіптік алюминий кендерінен алюминий оксидтеріннің бірдей тобына жатады.

## 1 Негізгі бөлім

### 1.1 Алғашқы алюминий электролизінің цехы

Электролизерлердің топтамалары бірнеше өнеркәсіптік корпустарда орналасқан. Электролиз цехының құрамына құю бөлімшесі мен электролиз тобын қалыпты пайдалануды қамтамасыз ететін әртүрлі қосалқы қызметтер кіреді. Әрбір электролиз цехының құрамында әртүрлі пайдалану белгілері бар құрылыстар мен ғимараттар бар.

Оларды құрастыру кезінде электролиз корпустарының орналасуы, яғни желдің бағыты бойынша болуы маңызды рөл атқарады. Бұл жақын аймақтағы жақсы табиғи аэрацияны қамтамасыз ету үшін қажет. Алюминий өндірісі үшін көп мөлшерде электр энергиясы жұмсалады, сол себепті ірі электр станцияларға жақын аймақта салынады.

Электролизерлердің саны айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіретін түзеткіш агрегаттардың максималдық кернеуімен анықталады, өйткені тізбекті жалғау барысында жиынтық кернеу барлық қоректену көздерінің потенциалдар айырымының сомасынан тұрады. Түрлендіргіш қосалқы станциялардың қалған өткізгіштерінде сыртқы электр сымдарындағы жоғалтуларды және кернеудің ықтимал тербелістерін өтеу үшін кернеу қоры ескеріледі. Және де, кернеудің уақытша өсуі кезінде, анодты әсерлер пайда болған кезде токтың тұрақты күшін ұстап тұру үшін кернеу қоры қажет. Ішкі станцияларда кернеу қоры бір уақытта бірнеше электролизерлерде анод әсерінің туындау жиілігінің ықтималдығына қарап есептеледі. Топтамадағы электролизер мөлшері көп болған сайын, бір мезгілде анод әсерінің пайда болу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Қолданыстағы түзеткіш техниканың, электролизерлердің конструктивтік ерекшеліктеріне және таңдалған технологиялардың мүмкіндіктеріне байланысты топтамалардағы алюминий ванналарының саны 70-тен 200-ге дейін болады. Қазақстандық өнеркәсіптерде кернеуі 400, 425, 450 және 825, 850 түзеткіш техникамен жұмыс істейді[1].

Ең сапалы жартылайөткізгішті түзеткіштер құрылымдарында 98 % дейін түрлендіргіш коэффициенті жетеді және қызмет көрсету бағасы арзан болады. Мұндай түзеткіштер пайдалану бойынша сенімді. Қазіргі кезде құрылымы бойынша ескірген түзеткіштерді жаппай ауыстыру жүргізілуде. Қазіргі заманауи түзеткіш агрегаттар 25 кА тұрақты ток береді. Электр тізбегіне параллель қосылған агрегаттар тобы талап етілетін ток күшін қамтамасыз етеді. Электролизер топтамаларын тұрақты токпен қамтамасыз ететін агрегаттар топтарын шина өткізгіштердегі электр энергиясының шығынын болдырмау және олардың құрылысына шығындарды төмендету үшін электролиз корпустарының шегінен тыс орналастырады.

Тұрақты токты ұстап тұру үшін түзеткіш агрегаттар тобында әрдайым бір құрылғы қорда болады. Алюминий өндірісінің технологиялық процесінің ерекшелігіне байланысты ішкі түрлендіргіш станциялардағы электр

параметрлерін реттеудің әртүрлі жүйелері қолданылады. Электр параметрлері: кернеу, ток күші және қуат.

Электролиздің процесін жүргізу кезінде тұрақты ток күшін реттеу ерекше қызығушылық тудырады. Бір уақытта бірнеше электролизерлерде анодты әсер күрт пайда болса, топтағы пайдалану қуаты артады. Бұл ішкі станция мен энергия жүйесінің жұмысына теріс әсер етеді. Практикада тұрақты токты, пайдалану қуатын өсуін белгілі бір мәнине дейін ұстап тұруға мүмкіндік беретін және пайдалану қуаты белгілі бір мәнге жеткен кезде оны автоматты түрде реттеуге мүмкіндік беретін құрамдастырылған схемалар қолданылады. Осылайша, топтамаларды токпен біркелкі қоректендіруі мүмкін. Алюминий электролизінің қоректендіретін ток күшін түзету үшін арнайы компенсациялық жүйелер қолданылады.

Отандық практикада негізгі құрылыс конструкциялары құрама темір-бетон және металл құрылымдардан дайындалады. Қабырғалық қоршаулар жел жүктемелерін ескере отырып орындалады: әдетте оларды жұқа қабырғалы ірі блокты жинақтардан немесе гофрленген алюминийден жинайды. Бірінші қабатта ауадан еркін өтетін оқшаулағыш панельдер орнатылмайды. Табиғи жарықтандыру корпус қабырғаларындағы жарық ойықтары арқылы жүзеге асырылады. Соңғы уақытта жарық қабаттарында шынының орнына синтетикалық қабық орнатылады, өйткені шыны фторлы қосындылардың әсерінен жарықтың өткізгіштігін тез жоғалтады. Корпусты монтаждау кезінде құрылыс конструкцияларының электрлік оқшаулануына ерекше көңіл бөлінеді, өйткені электролизерлер конструкциясының элементтері мен жер арасындағы потенциалдардың айырмасы 800 В аспауы мүмкін (циклдегі кернеуге байланысты).

Оқшаулауға арналған барлық темір-бетон бетондар мен металл конструкциялар жұмыс орнының еденінен 3,5 м биіктіктегі оқшаулау материалымен жабылады. Корпустардағы едендер электр оқшаулау қасиеттері бар материалдардан (көбінесе асфальттан) жасалады. Корпус бойында орналасқан болат желдеткіш торларды электр оқшаулау төсемдеріне орналастырады. Мұндай корпустарда электролизерлер тірекке бір мезгілде шинасымдарға арналған тіректерді көтеретін темірбетон рамалардан тұратын құрастырмалар түрінде орналастырады. Осы тіректер мен электролизерлер арасында электр оқшаулау төсемдері орнатылады, ал шина өткізгіштері бетон бағаналарға және электр оқшаулау төсемдеріне орнатылады[2].

Электролизерлерді корпусқа қабырғалардан электролизерлерге қызмет көрсететін механизмдер еш кедергісіз жұмыс жасайтындай қашықтықта орналастырады. Қазіргі заманғы корпустарда бұл қашықтық кемінде 4 метр қызмет көрсетілетін машиналардың екі бағытында қозғалатын жүктер ағыны мен бірқатар электролизерлер арасындағы қашықтық кемінде 7 метр күрделі салымдарды қысқарту мақсатында электролизерлер арасындағы қашықтықты барынша аз қалдырады. Қызмет көрсетуші персоналдың өтуі және электролизерлерді өңдеу бойынша машиналардың қозғалысы үшін әрбір қатарда ені бір метрге жуық бірнеше өту жолы және ені кемінде 3 м болатын

бірнеше жүру жолы бар; корпустың ортасында электролизерлер қатарының арасында 12 метрден аспайтын орташа жүру жолы бар.

Электролизерлер корпустарының конструктивтік элементтері зауытта қабылданған электролизерлерді күрделі жөндеу тәсілін ескере отырып орындалады. Жоғары қуатты электролизерлермен жабдықталған корпустарда өздігінен күйдірілетін анод және катод құрылғыларын тасымалдау үшін ірі габаритті көпірлі крандар пайдаланылады. Мұндай корпустың салмақ бағаналары мен кран асты арқалықтары осы крандардың жүк көтергіштігі ескерілетіндей етіп жасалады. Анодтары алдын ала күйдірілген көп блокты типті электролизерлермен жабдықталған корпустарда бірінші қабатта үлкен жүк таситын арнайы платформалармен күрделі жөндеуге тасымалданған катодты құрылғыларды қолдану болды. Мұндай құрылғылардың электролиздері тасымалдауға үлкен жүкті крандар талап етілмейтін салыстырмалы жеңіл салмақты элементтерден тұрады. Мұндай конструктивті шешімде корпус ғимаратының құны төмендейді, өйткені оның құрылымдық элементтері жеңілдетеді. Корпустың ішінде кейбір технологиялық тәсілдерді жүзеге асыру және жүктерді тасымалдау үшін бірнеше электр звенолы крандар орнатылады. Корпустың сыртқы жағына глиноземелді, кейде анодтық массаларға арналған шығыс бункерлер қосылады. Шығыс бункерлерімен қосылыстар корпустың бойында біркелкі орнатылады. Олардың саны корпустың ұзындығына байланысты. Алюминий электролизінің процесінде корпустың жұмыс кеңістігіне әртүрлі газдар бөлінеді: фторлы сутегі, электролиттің булану өнімдері, көміртегі оксиді, көмірқышқыл газы, құрамында күкірт қышқылы бар газ, өздігінен қызатын анодтарды кокстеудің ұшатын құрамдас бөліктері. Сонымен қатар, шаң мен жылу бөлінеді. Қажетті еңбек жағдайларын жасау үшін электролиз корпусы газ ұстағыштармен және жұмыс кеңістігінің желдету жүйелерімен жабдықталған. Газ желісі жүйесі осы газдың пайда болуы орын алады, яғни электролиз ваннасында, оның басым көпшілігі ұстап тұрады. Ол үшін әртүрлі конструктивті орындауларда жасалған жабындар ретінде электролизерлердің құрамдас бөліктері немесе өздігінен күйдіретін анодаторлары және жоғарғы ток өткізгіш құрылғылары бар, электролизерлердің құрамдас газдарын ұстауға және соңына дейін күйдіруге арналған қоңырау тәрізді газ жиынтығы пайдаланылады. Электролизердің газ бұру құрылғыларының кез келген түрі сору жүйесі бар желдеткішпен қосылған.

Сору желдеткіш жүйесі газ жүрісінің функцияларын орындайтын элементтерден тұрады. Бұл элементтер негізгі функциялары электролизерден, газ өткізгіштердің және ванналардың газ бұру құрылғыларында талап етілетін сиретуді тудыратын желдеткіштерден, сондай-ақ газдарды ықтимал үлкен аймаққа шашырату үшін қажетті желдету (түтін) құбырларынан ұсталатын газ өткізгіштерден тұрады. Газ жолдары каналдардан немесе құбырлардан тұрады, ал қазіргі заманғы корпустарда газ жолдары құрастырылады. Топтарға біріктірілген жекелеген электролизерлерден, газдың өсіп келе жатқан диаметрі бар құбырлар мен арналар еден деңгейінен төмен жасалған коллекторларға тасымалданады.

Сору желдеткіші жүйесіне түсетін газдар әдетте тазаланады. Электролиз процесінің жұмыс бағытына байланысты электролизерлердегі газ кетіргіш құрылғылардың ешқайсысы газдар мен шаңның толық ұсталуын қамтамасыз етпейді. Қоңыраулы жүйе бөлінудің 70% - ын ұстап тұруға және электролизерлердің 90-95% - ын толық жабуға мүмкіндік береді.

## 1.2 Газды тазалау

Алюминий өндірісінде өнеркәсіптік бөліністерді тазалауға көп көңіл бөлінеді. Электролизерлердің типі мен құрылымын таңдау кезінде негізгі факторлар электролиз кезінде бөлінетін зиянды заттардың ең аз мөлшері және оларды концентрацияланған күйде ұстау мүмкіндігі болып табылады. Электролизден шығатын газдар ұнтақты шикізат бөлшектерін, көбінесе саздың ұсақ бөлшектерін қамтиды. Газды тазалау зиянды компоненттер мен шаңды газдың негізгі массасынан бөлу үшін қызмет етеді. Газды тазартудың бір, екі және одан да көп сатылары қолданылады. Газ тазалау жүйесі сатыларының мақсаты мен аппараттық ресімделуі әртүрлі. Бірінші кезеңде газ қоспасы кокстеу кезінде пайда болатын механикалық қоспалардан (шаңнан) және шайырлы компоненттерден тазартылады. Содан кейін газ тәрізді бөліктен зиянды құрамдастар бөлінеді.

Бағалы фторлы қосылыстарды ұстау және алу үшін фторлы тұздармен байыту шамасына қарай фторды қайта өңдеу және қалпына келтіру арқылы арнайы бөлімшелер мен цехтарға түсетін сода ерітіндісі пайдаланылады. Фтордың алюминий ерітіндісімен қосылыстарының өзара әрекеттесуі кезінде фтор қатты күйге ауысады; пайда болған қоспаның құрамы бойынша криолит формуласына ұқсас ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Шаң мен шайырлы компоненттерді ұстау үшін электродтардың гидрошаюрларымен жабдықталған су жылытқыштар, арнайы конструкциядағы электр сүзгілері қолданылады. Электр сүзгілерінде ұсталған шаң одан қоқыс түрінде құнды құрамдастарды алу үшін одан әрі өңдеуге түседі.

Құрамында фтор бар газдарды тазарту үшін фторлы қоспаларды ерітіндіге айналдыратын түрлі ылғалды тазалау аппараттары қолданылады. Кері ағыс принципі бойынша жұмыс істейтін тізбекті аппараттар мен скрубберлер жиі қолданылады. Тозанданған масса немесе көпіршік түріндегі ерітінді фторлы ерітіндімен байытылады, жоғарыдан төмен қарай қозғалады, ал газдар төменнен жоғары қарай қозғалады және желдету құбырлары арқылы тазартылуына қарай шығарылады.

Газ тазарту жүйелері сору желдеткішімен жалғанады және әдетте сору желдеткіштері мен желдеткіш құбырлары жүйесінде сиретуді тудыратын желдеткіштер арасында орналастырылады. Газ тазарту аппараттары электролиз кооперациялары арасындағы бос кеңістікте дәйекті түрде орнатылады. Газдарды тазалауға арналған аппараттар саны немесе бір блокқа кіретін

аппараттардағы секциялар саны барлық келіп түсетін газды тұрақты тазартуды қамтамасыз етуді ескере отырып, өнімділігі бойынша таңдалады.

Бір секцияны немесе бір аппаратты тазалауда немесе жөндеуде тоқтату алдында жұмысқа қорлар қосылады. Осының арқасында газ тазартудың үздіксіздігі қамтамасыз етіледі[3].

ГАМИ Қытай институтының GP-320 заманауи технологиясы таңдалды. Бұл технология ГАМИ шығарған Қытайдың бірнеше алюминий зауыттарында қолданылады. Ол сондай-ақ Үндістандағы “Sterlite Industries” алюминий зауытында қолданылады. Ұзындығы 1000 м электролиздің екі параллель корпусарында электролизерлер орнатылады және жалпы тізбекті қосылыстың 288 электролизерлерінен тұрады. Бірінші кезеңде электролиздің әрбір корпусында топтың жартысы, яғни әрқайсысы 72 электролизер салу көзделеді. Электролизерлер топтамасының номиналды тогы 320-325 кА құрайды, бірақ қысқа уақыт кезеңінде оны 330 кА кем емес ұзарту қарастырылады. Электролизерлердің қосалқы жабдықтарына және электролиз корпустарына қатысты жобада мынадай негізгі ерекшеліктер қарастырылған:

автоматты басқару процесі бар глиноземді және еритін тұздарды механикалық жеткізу (микропроцессорлық басқару);

- кернеуді автоматты реттеу;
- анодтарды басқаруға арналған механикаландырылған жабдық;
- электролизерлерден металды вакуумды құю;
- зиянды заттарды тиімді ұстау үшін электролизерлерді оқшаулауды жабдықтау.

### **1.3 Құю бөлімі**

Құю цехы электролиз цехының құрамына кіреді. Электролиттерден алынған алюминий мен сұйық алюминий, сондай-ақ таза жоғары деңгейлі алюминий тауар өнімдеріне қайта өңделеді. Түсіру бөлігі әдетте электролиз корпусынан құю цехына сұйық металды тасымалдаудың шағын жолын ескере отырып, электролиз цехының аумағындағы бір, екі немесе көп қабатты ғимаратта орналасады. Құю цехының параметрлері өндіріс көлеміне және шығарылатын өнім тізбесіне байланысты. Бұл сепарацияның негізгі жабдығы газ немесе электрлік қызуы бар шағылыстырғыш пештерден (араластырғыштардан) тұрады. Пештер тұрақты немесе ротациялық типті болады. Әдетте, шығарылатын өнімнің сапасын арттыру үшін екі қос шағылыстырғыш пеш орнатылады. Мұндай пештердің бірі (тұндырғыш) металды қабылдауға, тұндыруға, температураны және оның құрамын орташалауға, ал екіншісі (құйғыш) - одан әртүрлі түрдегі өнімдерді ағызуға арналған. Стационарлық пештер жүйесі айналмалы пештерге қарағанда үздіксіз толтыру процесін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, құю цехында қалдықтарды балқытуға немесе әртүрлі лигатураларды дайындауға арналған қосалқы пештер орнатылған. Бұл жағдайда индукциялық пештер қолданылады. Бөлімдер тауар

өнімдерін құю машиналарымен жабдықталған.

#### 1.4 Анодтарды құрастыру және бөлшектеу бөлімі

Егер зауытта күйдірілген анодтар өндіретін цех болмаса, онда копблукты типті күйдірілген анодтар бар электролизерлермен жабдықталған электролиз цехы анодтарды жинау және бөлшектеу бөлімін қамтиды. Мұндай электролизерлердің әрбір аноды бірнеше бөліктен: күйдірілген көмір блоктарынан немесе ниппель өзекшелерімен дәнекерленген болат тіреуі бар бірнеше блоктардан және алюминийден өзекшелерден тұрады. Алюминий өзекпен біріктірілген тұғырық (анод ұстағышы) анодтың көп реттік бөлігі болып табылады; көмір блоктары электролиз процесінде тотығады және жиі жаңасымен ауыстырылады. Анодты ұстағышты қайта пайдаланған кезде көмір блогының қалдықтарын тазалау қажет. Көміртекті блокты анодты ұстағышпен қосу үшін блоктардың жоғарғы бөлігінде ниппельді ұя деп аталатын арнайы тесіктер жасалады. Әрбір блоктағы ниппельді ұяшықтардың саны мен нысаны оның өлшеміне және блок анодты ұстағышпен қалай қосылғанына байланысты. Мұндай қосылыстың екі түрі бар: шойын құю және арнайы көмір қышқыл массасын герметизациялау. Анодты жинау мен бөлшектеудің барлық тәсілдері арнайы жабдықталған бөлікте жүргізіледі. Анодтарды жинау және демонстрацияның қазіргі заманғы цехтары барлық негізгі операцияларды орындау үшін жартылай автоматты өндірістік желілермен жабдықталған жоғары өнімді өндірістік қуаттардан тұрады. Өндірістік қызметтің сипатына байланысты бөлек бөліктерге бөлінеді: анодтарды бөлшектеу, анод ұстағыштарды дайындау және анодтарды құрастыру. Әрбір жеке бөлшек сізге қажетті конвейердің түріне байланысты өндірістік желілермен жабдықталған. Анодтарды кесу мынадай тәсілдерден тұрады: көмір блогының "оталуын" бұзу, ниппельді шойынның құймаларын (анодұстағыш блогын шойын байланысынан) немесе көмірқышқыл газынан тазарту, қалдықтарды сұрыптау және оларды қайта өңдеуге беру. Көмір блоктарының қалдықтары күйдірілген анодтар өндірісіне қайтарылады, фторидті тұздарды алу бөліміне жіберіледі, ал анод ұстағыштар оларды қайта пайдалануға дайындау үшін желіге жіберіледі. Ұнтақтау цехының негізгі жабдықтары гидравликалық престер немесе пневможетектер болып табылады. Зақымдалған бөлшектер анодұстаушының өндірістік бөлімінде жөнделеді. Көбінесе пайдалану кезінде ниппельді кергіштер деформацияға ұшырайды, өйткені олар балқымамен түйіскен кезде немесе ағымдағы асқынулар кезінде олардың балқуына байланысты балқымамен байланысты балқымамен байланысты. Деформацияланған ниппель газды немесе плазмалық жанарғылармен қиылысады және электр жалғағыш машиналарда жаңасын дайындауға қосады. Егер қосылыс сынған болса, алюминий өзегі тірек қосылыстарын түзетеді. Қалпына келтірілген анод ұстағышты бекітіп, ток қабылдағыштың бетін тазалаңыз. Бұл үшін ниппельдердің беті ұнтақ ағысымен немесе пневматикалық балқыту

құрылғыларымен өңделеді. Шыбықтарды түзету престерде жүзеге асырылады. Анод ұстаушысы әрі қарай пайдалануға дайын деп анод құрастыру цехына хабарлайды. Анодты құрастыру цехтары конвейерлермен, сондай-ақ оларға арналған көмір блоктарындағы ниппельдер мен саңылауларды алдын ала қыздыруға арналған қондырғылармен жабдықталған.

Агрегат құрамындағы шойын құю шойын балқыту және пісіру пешінен тұрады (әдетте индукциялық). Көміртекті массадан жасалған көміртекті блоктарда анодты ұстағыштарды герметизациялау кезінде анодты құрастыру желісі арнайы престермен жабдықталады. Анод ұстағышына көміртекті блокты қосу анодтарды жинаудың ең жауапты тәсілі болып табылады. Оны орындау кезінде көмір блогын анодұстағыштың ниппелімен сапалы біріктіруге қол жеткізу, сондай-ақ өзектің көмір блогының төменгі бөлігінде немесе анодұстағыштың бірінде бекіту үшін өлшемдері бойынша үлкен емес бірнеше блоктар көзделген жағдайда блоктардың бетіне перпендикуляр орналасуын қатаң сақтау қажет. Дайын анод блоктарының бүйір беті арнайы қондырғыларда коррозиядан қорғайтын, көбінесе сұйық алюминиймен тозаңданатын қорғаныш қабатпен жабылады. Анодтарды құрастыру және бөлшектеу бөлімінің құрамына, сондай-ақ ақауларды жою және көмір блоктарын жинау үшін қажетті шикізат пен материалдардың түрлі түрлерін дайындайтын дайындық бөлімдері кіреді. Дайын анодтар электролизер корпусына жіберіледі.

## **1.5 Жөндеу бөлімі**

Электролиз цехтарының техникалық жабдықталуының ұлғаюына қарай жөндеу жұмыстарының көлемі айтарлықтай ұлғаюда, сондықтан жөндеу қызметін ұйымдастырудың маңызы зор. Барлық машиналар мен механизмдердің, сондай-ақ технологиялық процестің өтуін қамтамасыз ететін технологиялық қондырғылардың үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету үшін электролиз цехының мамандандырылған бөлімшесі жобаланады. Бұл бөлім келесі бөлімшелерден тұрады: әр түрлі бөлшектерді механикалық өңдеу бөлімі, ірі габаритті механикалық жабдықтарды жөндеу бөлімі, электр жабдығына профилактикалық қызмет көрсету бөлімі, өздігінен жүретін машиналар мен механизмдерді жөндеу бөлімі, аккумуляторларды оңай зарядтауға болатын қосалқы станциялар бөлімі. Бөлшектерді механикалық өңдеу металл кескіш станоктардың және басқа жабдықтардың көмегімен жүзеге асырылады. Электролиз цехының ірі габаритті механикалық жабдықтарына профилактикалық қызмет көрсету үшін, мысалы: электр звенолы крандарды, электролизерлерді, құю машиналары мен илемдеу стандартына қызмет көрсететін көп палубалы еденді-рельсті машиналарды жөндеу үшін тораптарда жөндеудің прогрессивті әдістері қолданылады. Жөндеу цехының арнайы жабдықталған бөлігінде жабдықтың ірі габаритті агрегаттарын сұрыптау, жөндеу және монтаждау жүргізіледі. Бұл бөлім қажетті стендтер мен



бөлшектердің тозуын және жөндеу жұмыстарының сапасын тексеру үшін бақылау-өлшеу құралдарымен жабдықталған. Электр жабдығы арнайы жабдықталған бөлімшеде профилактикалық тексеруден және жөндеуден өтеді.

Электролизерлерге қызмет көрсететін өздігінен жүретін машиналар мен механизмдерді, мұндай машиналар бір өндірістік желіде тексерілуі және жөнделуі мүмкін болатындай етіп жөндеуді ұйымдастырады. Машиналар мен механизмдердің саны мен әртүрлілігіне байланысты осы желілердің бірнеше түрі бар. Әр түрлі қызмет көрсету аймақтарында әртүрлі технологиялық машиналарды пайдалану үшін электролиз цехы салыстырмалы түрде аз. Бұл машиналар тек жұмыс органының құрылымымен немесе жұмысымен ерекшеленеді. Мысалы: түрлі белгілері бар автомобильдер дизель қозғалтқышы бар шассидің бір түрінде қолданылады.

Әрбір жөндеу желісі машиналардың конструкциясы мен жөндеу ерекшеліктеріне байланысты жабдықталады. Олар әр түрлі жабдықтарды жөндеу сапасын арттыру үшін қажетті аспаптармен және бақылау-өлшеу аспаптарымен жабдықталған. Аккумуляторлық батареяларды аз зарядтаумен айналысатын бөлімше токты түрлендіруге арналған жоғары тиімді түзеткіш құрал-жабдықтармен және желдеткіш жүйелерімен, сондай-ақ аккумуляторлық электролиттерді дайындауға арналған жабдықпен жабдықталған. Штифтті қалпына келтіруге арналған жөндеу цехтары штифттердің деформацияланған болаттан жасалған бөлшектерді кесуге, жаңа штифттерді дәнекерлеу мен қайрауға, оларға бастапқы қалыптарды беруге арналған жабдықтарды қамтитын өндірістік желілермен жарақтандырылған. Жоғары ток желісінде болат алюминий қада үшін болат корпусты қалпына келтіру үшін жабдық-бөліктегі алюминий өзегі қолданылады[4].

Штирьлер болат түйіспелі беттерін тазарту механикалық құрылғылармен немесе әртүрлі конструктивтік формаларды ұнтақты-ағынды тазартумен жүзеге асырылады.

## **1.6 Алюминий электролизі процесінің технологиясы**

"КЭЗ" АҚ алғашқы алюминийді алудың технологиялық процесі криолитті глинозем балқымасының электролизіне негізделген. Электролиз процесі электролизерде жүзеге асырылады. Электролизер катодты және анодты құрылғылардан тұрады. Катодты құрылғы бұрыштық баспалдақтармен және бүйірлік блоктармен қапталған металл корпустан тұрады. Анод құрылғысына бекітілген күйдірілген анодтар электролизердің үстіне ілінеді. Күйдірілген анодтар кокс қоспасынан тұрады және ерітілген алюминиймен шамамен 1100°С температурада алдын ала күйдірілген дәнекерлеуді байланыстыратын катод болып табылады. Электролит балқытылған криолиттен ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), құрамында глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ерітілген  $\text{AlF}_3$  тұрады. Электролизді глиноземнің тербеліс концентрацияларында 1-ден 8% - ға дейін масса жақындаған кезде жүргізеді. Электролиз температурасы кезінде балқытылған алюминий электролиттен

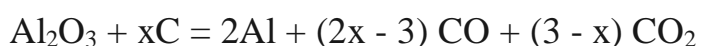
ауыр, сондықтан ол электролизердің төменгі бөлігінде орналасқан. Жалпы жағдайда электролит электролиз кезінде шығындалмайды, бірақ булануға байланысты белгілі бір шығындар бар[5].

Қазіргі электролизерлерде электролиттер қосымша компоненттерді қамтиды:

- Алюминий фториді ( $AlF_3$ ) 6-13% - ға дейін (салмағы бойынша);
- 4-6% - ға дейін (салмағы бойынша) кальций фториді ( $CaF_2$ );
- 2-ден 4% - ға дейін (салмағы бойынша) глинозем ( $Al_2O_3$ ).

Полюстер арасындағы қашықтық, басқаша айтқанда, анод түбінің және сұйық металл бетінің арасындағы тігінен алынатын биіктігі, әдетте 4-тен 5 сантиметрге дейін болады. Осылайша, глиноземдің электролиттік ыдырауы кезінде глинозем үшін еріткіш пен алюминий тұзуге мүмкіндік беретін негізгі функциялардан басқа, электролит катодта түзілетін металл алюминий мен анодта бөлінетін көмірқышқыл газы арасында физикалық бөлуді қамтамасыз етеді. Электролиттегі ( $Al_2O_3$ ) глинозем концентрациясын 2-4 % деңгейінде ұстап тұру маңызды. Глинозем толық бөлінбеген кезде оның төмен концентрациясы электролиздегі кернеудің жоғарылауын тудырып, электролиз процесінің қалыпты ағысын бұзатын анодтық әсерге әкеледі. Бұл жағдайда электролиттің фторидті қосылыстарының электролиттік ыдырауы басталады және анодтың астында электр кедергісін ұлғайтатын газдың электрлік қорғаныс қабаты пайда болады, яғни ұяшықтағы кернеудің артуына әкеледі. Анодты әсердің нәтижесі ұяшықтағы жылу балансының бұзылуы, фторидті қалдықтардың өсуі және тоқтық шығарындылардың төмендеуі болып табылады. Электролизерде болатын процесс электролитте ерітілген саздың электролиттік ыдырауынан тұрады. Сазбалшық шығынының салдарынан оны электролизерлердің күш бункерлеріне үздіксіз беру керек. Ол үшін қатаң синхрондалған конвейерлік көлік жүйесі қолданылады. Содан кейін глинозем электролитке электролизерлердің металл конструкцияларының бөлігі болып табылатын нүктелі беріліс мойнақтары арқылы түседі. Егер глинозем мөлшерін электролизерге ауыстыру қажет болса, онда ваннаның қабығын бұзатын тесік төмен түсіріледі, содан кейін клапан ашылады және глинозем мөлшері электролизерге түседі. Құйма ваннасында құю бөлімшесінің араластырғышына кейіннен металл беру үшін отқа төзімді футеровкасы бар шөміштердегі сұйық алюминий, сифондық тәсілмен құю қабатынан бөлінеді. Анодта көміртек бөлінетін оттегімен тотығады[6].

Электролизерде өтетін жалпы реакция келесі теңдеумен берілуі мүмкін:



Осылайша, электролиз процесіне теориялық тұрғыдан тек глинозем және анод көміртегі жұмсалады, сондай-ақ глинозем ыдырауының электролиттік процесін жүзеге асыру үшін қажетті электр энергиясы ғана емес, сонымен қатар жоғары жұмыс температурасын ұстап тұру үшін электр энергиясы де тұтынылады. Буланатын және футеровкаға сіңетін фторлы тұздардың кейбір

мөлшері жұмсалады. Электролиттің қажетті құрамын ұстап тұру үшін электролизерге алюминий фторидін жиі енгізу қажет.

Электролизге түсетін барлық материалдардың алюминийге (темір, кремний, мыс және басқалары) карағанда, ең аз саны болуы тиіс. Өйткені, бұл қоспалар электролиз процесі кезінде металға толығымен айналады.

Электролизерлер бөлініп шығатын газдарға қарсы тұратын қорғаныстармен жабдықталған. Бұл атмосфераға зиянды заттардың бөлінуін төмендетеді. Технологиялық процесс желдеткіштердің көмегімен коллекторға газды соруды қамтамасыз ету үшін қорғаныстың герметикалық болуын талап етеді. Электролизерден шығатын газдарда көміртек диоксиді, азот, оттегі, газ тәрізді және қатты фторидтер және сазбалшық тозаңының бөлшектері болады. Оларды жою және процеске қайтару үшін құрғақ газ тазарту жүйесі қолданылады.

Газды тазалаудың құрғақ тәсілі кезінде электролизден бөлінетін газдар фторлы сутегіні соратын сазбалшық қабаты арқылы өтеді, ал фтормен қаныққан қосымша сазбалшық алюминий өндірісіне қайтарылады. Осылайша, құрамында фтор бар барлық газдар кәдеге жаратылады және газды тазалау кезінде түзілмейді[7].

## 2 Жобаның технологиялық шешімі

### 2.1 Алюминий электролиз процесінің конструктивті және технологиялық есептеулер

Есептеу үшін төмендегідей бастапқы деректер берілді:

- Өнімділік - 150000 т/жыл;
- Ток шығымы - 95 %;
- Ваннадағы ток күші - 300000 А;
- Анодты ток тығыздығы - 0,85А/см<sup>2</sup>;
- Ваннадағы орташа кернеу - 4,5 В.

### 2.2 Конструктивті есептеу

Ток күші 160 кА күйдірілген анодтары бар отандық электролизерлер 0,71 А/см<sup>2</sup> анод тығыздығымен жұмыс істейді.

Анод қимасының ауданы мына формула бойынша есептеледі:

$$S_a = I/i_a = 300000/0.85 = 352941 \text{ см}^2$$

мұндағы  $I$ -жобаланатын электролизер тогының күші, А;

$i_a$ -тоқтың анодты тығыздығы, А / см<sup>2</sup>.

Балка-коллектор анод құрылғысына арналған жетекші металл конструкциясы болып табылады және дәнекерленген қорапты білдіреді. Төменгі бөлігі үш бөліктен тұрады: шеткі арналар болып табылады, ал орташа бөлігі-құрастырмалы газ жүретін коллектор. Арқалықтың жоғарғы бөлігі-газ жүретін коллектор. Коллектор-арқалық катодты қаптамада орнатылған металл тіректерге тіреледі. Коллектор-Арқалықта электр жетектері мен бұрандалы домкраттарды қамтитын анодтарды көтерудің екі механизмі орнатылған.

Электролизерді конструктивтік есептеу кезінде сериялық шығарылатын анодтардың типтік өлшемдеріне бағдарлануы керек. ТадаЗ, СаАза электролизерлері конструкциясының күйдірілген анодтарын 700x1400 мм қима өлшемін және 600 мм биіктігін қабылдаймыз.

Анодты блоктар ваннаның шахтасына екі қатарға перпендикуляр ұзын жағымен орнатылады, қатарлар арасындағы қашықтық 160 мм, анодты блоктар арасындағы қашықтық 50 мм.

Анодтық массивтегі анод блоктарының саны ( $n_a$ , дана) мына формула бойынша анықталады :

$$n_a = S_a / (l \cdot b) = 35294100 / (1450 \cdot 700) = 23 \text{ дана}$$

мұндағы  $l$ -анод блогының ұзындығы, мм;

$b$ -анод блогының ені, мм.

Анод массивінің жалпы ұзындығы ( $L_a$ , мм) өрнектен анықталады :

$$L_a = (n_a/2) \cdot b + 50 \cdot (n_a/2 - 1) = 36/2 \cdot 700 + 50 \cdot (36/2 - 1) = 13450 \text{ мм}$$

Анодтың ені ( $B_a$ , мм):

$$B_a = 2l + 160 = 2 \cdot 1450 + 160 = 3060 \text{ мм}$$

Анодтың бойлық жағынан анодқа дейінгі оңтайлы қашықтық:

- бүйір футировка ( $b_{ш}$ )- 360 мм;
- қапталдық футировка ( $l_{ш}$ )- 535 мм.

Ваннаның ішкі шахта ұзындығы ( $L_{ш}$ ):

$$L_{ш} = L_a + 2l_{ш} = 13450 + 2 \cdot 535 = 14520 \text{ мм}$$

Ваннаның ішкі ені ( $B_{ш}$ ):

$$B_{ш} = B_a + 2b_{ш} = 3060 + 2 \cdot 360 = 3780 \text{ мм}$$

Шахтаның тереңдігі ( $H_{ш}$ , м) металл биіктігінің ( $h_m$ , м), электролит биіктігінің ( $h_э$ , мм) және ондағы глинозем қабаты бар электролит қабығының қалыңдығының ( $h_r$ , мм) сомасы ретінде анықталады. Жоғары қуатты ванна үшін практикалық деректерге сәйкес

$$h_m = 350 \text{ мм};$$

$$h_э = 170 \text{ мм};$$

$$h_r = 80 \text{ мм}.$$

$$H_{ш} = h_m + h_э + h_r = 350 + 170 + 80 = 600 \text{ мм}$$

Катодты құрылғының ірілендірілген блоктар қимасы  $400 \times 550$  және ұзындығы 2200, 1400 мм. Блоктар арасындағы қашықтықты қабылдаймыз 40 мм.

Катод блоктарының саны ( $n_k$ , дана) мына формула бойынша есептеледі:

$$n_k = L_{ш} / (550 + 40) = 13450 / (550 + 40) = 22 \text{ дана}$$

мұндағы 40- блок арасындағы қашықтық, мм.

Катод блоктары мен шахтаның бүйірлік футеровкасының арасындағы қашықтық ( $C$ , мм) мына формуламен анықталады:

$$C = (B_{ш} - (B_1 + B_2 + 40)) / 2 = (3780 - (2200 + 1400 + 40)) / 2 = 70 \text{ мм}$$

мұндағы  $B_1, B_2$  – блоктың ұзындығы.

Катод блоктары мен бүйір футеровкасы арасындағы тігістің ені ( $d$ , мм):

$$d = (L_{\text{ш}} - (n_k \cdot 550 + (n_k - 1) \cdot 40)) / 2 = (14520 - (22 \cdot 550 + 21 \cdot 40)) / 2 = 790 \text{ мм.}$$

Болат қаптаманың ішкі өлшемдері (мм):

Ұзындығы:

$$L = 14520 + 2 \cdot 100 = 14720 \text{ мм}$$

Ені:

$$B = 3780 + 2 \cdot 100 = 3980 \text{ мм}$$

Биіктігі:

$$H = 600 + 15 + 195 + 130 + 60 + 400 = 1400 \text{ мм}$$

Көрсетілген қиманың бір катод өзегіне келетін токтың нақты тығыздығы (А/мм<sup>2</sup>):

$$I_{\text{ст}} = I / (2 \cdot n_k \cdot 115 \cdot 230) = 300000 / (2 \cdot 22 \cdot 115 \cdot 230) = 0,26 \text{ А/мм}^2$$

### 2.3 Технологиялық есептеу

Жобаланатын электролизердің тәуліктік өнімділігі (Р, кг) мына формуламен:

$$P = I \cdot g_{\text{Al}} \cdot \eta_{\text{T}} \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 300000 \cdot 0,3356 \cdot 0,95 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 2295 \text{ кг}$$

мұндағы 0,3356 – алюминийдің электрохимиялық эквиваленті, г/А·сағ;  
 $\eta_{\text{T}}$  – ток шығыны.

Электр энергиясының шығыны (W, кВт·сағ) тұрақты ток кезінде 1 тонна алюминий шикізатында:

$$W = U_{\text{орт}} / (g_{\text{Al}} \cdot n_k) \cdot 10^3 = 4,5 / (0,3356 \cdot 0,95) \cdot 10^3 = 14114 \text{ кВт·сағ}$$

Кесте 1 - Электролизердің негізгі технологиялық және конструкциялық параметрлері

Көрсеткіштер атауы	Бірлік өлшемі	Жоба
Ток күші	А	300000
Ток шығымы	%	95%

1 кестенің жалғасы

Көрсеткіштер атауы	Бірлік өлшемі	Жоба
Электролизердің тәуліктік өнімділігі	кг	2295
Орташа кернеу	В	4,5
Катодты қаптаманың түрі		Контрфорстылы
Анодты блоктың өлшемі ені, ұзындығы, биіктігі	мм	700x1450x600
Анодты ток тығыздығы	А/см <sup>2</sup>	0,71
Анод блоктарының саны	дана	24
Ванна шахтасының өлшемі ені, ұзындығы, биіктігі	мм	3980x14720x1400
Анодқа дейінгі қашықтық:	мм	360x575
Қосымша секциялар саны	дана	16
Блюмс саны	дана	16
Блюмс қимасы	мм	115x230
Блюмстердегі ток тығыздығы	А/мм <sup>2</sup>	0,26
Электролизердің қызмет ету мерзімі	жыл	4,5
Анодты әсерлердің жиілігі	дана	1
Анодты әсердің ұзақтығы	мин	2
Газ сору көлемі: -жабық электролизерден; -анодты ауыстырғанда және ашық бойлық жағында	М <sup>3</sup> /сағ	9000 13500

## 2.4 Фтор балансы

Электролиздеу процесінде газ тазарту жүйесіне фтор 20-дан 21 кг/т-ға дейін фторлы қосылыстар бөлінеді. Есепте 20,5 кг-мен есептейміз.

Фторидтерді аулау тиімділігін  $\mathcal{E}_F^{\text{бас}}$  формуламен:

$$\mathcal{E}_F^{\text{бас}} = \mathcal{E}_{F1}^{\text{бас}}T_1 + \mathcal{E}_{F2}^{\text{бас}}T_2 + \mathcal{E}_{F3}^{\text{бас}}T_3 + \mathcal{E}_{F4}^{\text{бас}}T_4 + \mathcal{E}_{F5}^{\text{бас}}T_5$$

мұндағы 1,2,3,4,5 - технологиялық операциялар;

$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  – технологиялық операциялардың ұзақтығы.

Практикалық деректерге сәйкес  $\mathcal{E}_{F1}, \mathcal{E}_{F2}, \mathcal{E}_{F3}, \mathcal{E}_{F4}, \mathcal{E}_{F5}$  :

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{F1}^{\text{бас}} &= 0,5 \\ \mathcal{E}_{F2}^{\text{бас}} &= 0,65 \\ \mathcal{E}_{F3}^{\text{бас}} &= 0,65 \\ \mathcal{E}_{F4}^{\text{бас}} &= 0,4 \\ \mathcal{E}_{F5}^{\text{бас}} &= 0,98\end{aligned}$$

$T_{1,2,3,4,5}$  –ті есептеу:

$$T_1 = 10/1440 = 0,0069 \text{ мин}$$

мұндағы 10 - бір ұзын жағын немесе екі бүйір жағын өңдеу ұзақтығы, мин;

1440 - тәуліктегі минут саны.

$$T_2 = k\tau_{\text{АЭ}}/1440 = 0,00139 \text{ мин}$$

Мұндағы  $k$  - анодтық эффект саны;

$\tau_{\text{АЭ}}$  - анодтық эффект ұзақтығы, мин.

$$T_3 = 8/1440 = 0,0056 \text{ мин}$$

мұндағы 8 - бір электролизерден металды құю ұзақтығы, мин.

$$T_4 = 25 \cdot n_6 / (29,5 \cdot 1440) = 0,014 \text{ мин}$$

мұндағы 25 - бір анодты ауыстыру уақыты, мин;

29,5 - анодтардың қызмет мерзімі, тәулік;

$n_6$  – анодтық блок саны, дана.

$$T_5 = 1 - (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) = 0,9665 \text{ дана}$$

Сонда  $\mathcal{E}_F^{\text{бас}}$  құрайды:

$$\mathcal{E}_F^{\text{бас}} = 0,5 \cdot T_1 + 0,65 \cdot T_2 + 0,65 \cdot T_3 + 0,4 \cdot T_4 + 0,98 \cdot T_5 = 96,65\%$$

Газ тазарту жүйесіне ( $F^{\text{ГТ}}$ ):

$$F^{\text{ГТ}} = 20,5 \cdot \mathcal{E}_F^{\text{бас}} = 19,81 \text{ кг}$$

Газ түрінде (40%):

$$F_{\text{газ}}^{\text{ГТ}} = 0,4 \cdot F^{\text{ГТ}} = 7,924 \text{ кг}$$

Қатты күйінде (60%):

$$F_{\text{кат}}^{\text{ГТ}} = 0,6 \cdot F^{\text{ГТ}} = 11,89 \text{ кг}$$

Корпус атмосферасына ( $F^{\text{ка}}$ ):

$$F^{\text{ка}} = 21 - F^{\text{ГТ}} = 1,19 \text{ кг}$$



Газ түрінде (40%) :

$$F_{\text{газ}}^{\text{ка}} = 0,4 \cdot F^{\text{ка}} = 0,48 \text{ кг}$$

Қатты күйінде (60%) :

$$F_{\text{кат}}^{\text{ка}} = 0,6 \cdot F^{\text{ка}} = 0,714 \text{ кг}$$

## 2.5 Фтордың үлес шығыны

Іске қосу кезінде ванна шахтасының  $1 \text{ м}^2$  ауданына фтордың шығымы 230 кг-ды құрайды. Фторды футеровкаға сіндіруге жұмсалатын салыстырмалы шығын ( $P_{\text{F}}^{\text{фс}}$ , кг/т) құрайды:

$$P_{\text{F}}^{\text{фс}} = 230 \cdot V_{\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} / \text{қ.е.у} \cdot 365 \cdot P = 230 \cdot 3,98 \cdot 14,52 / 4,5 \cdot 365 \cdot 2,295 = 1,13 \text{ кг/т}$$

Анодты әсерлер кезіндегі көмір фторидті түріндегі фтордың шығымы ( $P_{\text{F}}^{\text{кф}}$ , кг/т) мына формула бойынша анықталады:

$$P_{\text{F}}^{\text{кф}} = 0,2 \cdot k \cdot \tau_{\text{АЭ}} / P = 0,2 \cdot 1 \cdot 2 / 2,295 = 0,17 \text{ кг/т}$$

Зауыттардың практикалық деректеріне сәйкес 1 тонна алюминийге шикізатына 3,6 кг фтормен күйдірілген анодтар және анодты күйік жұмсалады.  $P_{\text{F}}^{\text{ка}} = 3,6 \text{ кг/т}$ .

Практикалық мәліметтерге сәйкес, бұл шығын 20-21 кг құрайды. Есепте 20,5 кг-мен есептейміз.

Механикалық шығынды есепке алмағандағы фтор шығыны:

$$P_{\text{F}}^{\text{фс}} + P_{\text{F}}^{\text{кф}} + P_{\text{F}}^{\text{ка}} + P_{\text{F}}^{\text{гш}} = 1,13 + 0,17 + 3,6 + 20,5 = 25,4 \text{ кг/т}$$

Фтордың механикалық шығыны осы соманың 5 % құрайды, жалпы шығындарды есептейміз ( $P_{\text{F}}^{\text{жалпы}}$ , кг/т):

$$P_{\text{F}}^{\text{жалпы}} = 25,4 / 0,95 = 26,74 \text{ кг/т}$$

Фтордың механикалық шығыны ( $P_{\text{F}}^{\text{М}}$ , кг/т) тасымалдау кезінде мына формула бойынша анықталады:

$$P_{\text{F}}^{\text{М}} = 0,05 \cdot P_{\text{F}}^{\text{жалпы}} = 0,05 \cdot 26,74 = 1,34 \text{ кг/т}$$

Тексеру:

$$1,13+0,17+3,6+20,5+1,34 = 26,74 \text{ кг/т}$$

## 2.6 Фтордың үлес кірісі

Күрделі жөндеуден кейін электролизерлерді іске қосуға қажетті фторсоль ( $P_{F^{fc}}$ , кг/т).

$$P_{F^{fc}} = R_{F^{fc}} = 1,13 \text{ кг/т}$$

Криолитке қайта есептегенде ( $P_{KR}$ , кг/т):

$$P_{KR} = P_{F^{fc}} / 0,54 = 1,13 / 0,54 = 2,09 \text{ кг/т}$$

"Құрғақ" газ тазартудан фтордың кірісі ( $P_{F^{GT}}$ )

0,93-тең сазбалшықпен "құрғақ" газ тазарту жүйесіндегі фтордың ұстау дәрежесін және "құрғақ" газ тазарту тиімділігін ескере отырып, фтордың фторланған глинозем ( $P_{F^{GT}}$  кг/т) түріндегі электролиз процесіне кірісі орташа 98,5% құрайды:

$$P_{F^{fc}} = 0,985 P_{F^{GTH}} \varepsilon_{F^{bac}} = 0,985 \cdot 20,5 \cdot 0,9665 = 19,52 \text{ кг/т}$$

Фтордың криолитті электролитке қатынасын түзетуге кірісі  $P_{F^{KK}}$ .

Фторлы тұз түріндегі фтордың кірісі ( $P_{F^{KK}}$ , кг/т):

$$P_{F^{KK}} = R_{F^{жалпы}} - (P_{F^{fc}} + P_{F^{fc}}) = 30,07 - (19,52 + 1,13) = 9,42 \text{ кг/т}$$

Қорытынды: фтордың жалпы кірісін ( $P_{F^{жалпы}}$ , кг/т) құрайды:

$$P_{F^{жалпы}} = P_{F^{fc}} + P_{F^{fc}} + P_{F^{KK}} = 1,13 + 19,52 + 9,42 = 30,07 \text{ кг/т}$$

2 Кесте - Фтордың балансы

Фтордың үлестік кірісі				
	Кг/т	Фтор тұздағы %	F-ға қайта есептегенде	%
Фторлы алюминий	10,65	61	9,42	31,33
Құрғақ газ тазарқыштың фтор тұздары			19,52	64,91
Электролизерді күрделі жөндеуден кейінгі фторсольдар	2,09	54	1,13	3,76
Жалпы			30,07	100

## 2 кестенің жалғасы

Фтордың үлестік шығыны				
	Кг/т	Фтор тұздағы %	Ғ-ға қайта есептегенде	%
Футеровкаға сіндіру үшін			1,13	3,735
Көмір фторидті түрінде			0,17	0,635
Механикалық шығын			1,34	5,01
Анодты күйінді			3,6	13,46
Газ және шан түрінде			20,5	76,66
Жалпы			26,74	100

### 2.7 Электролизердің материалдық балансы

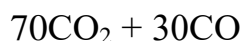
Электролиздің технологиялық процесін жүргізу үшін және сағатына 49,4 кг алюминий шикізатын ( $P(\text{кг}) / 24 = 1185,6 / 24 = 49,4 \text{ кг}$ ) алу үшін электролизерге жүктеу қажет :

- глинозем:  $1,93 \cdot 49,4 = 95,4 \text{ кг/сағ}$
- анод :  $0,58 \cdot 49,4 = 28,65 \text{ кг/сағ}$
- фтор тұздары :  $(0,00858 + 0,01065) \cdot 49,4 = 0,97 \text{ кг/сағ}$
- күйік шығымы :  $0,14 \cdot 49,4 = 6,92 \text{ кг/сағ}$

### 2.8 Шикізат шығынын есептеу

Глинозем шығыны :  $(1,93 - 1,89) \cdot 49,4 = 1,98 \text{ кг/сағ}$

Глиноземнің электрохимиялық ыдырауы нәтижесінде бөлінетін анод газдарының құрамы (көлемдік пайыздар) қабылданады:



49,4 кг /сағ алюминий алу кезінде оттегі бөлінеді (кг/сағ):

$$\sigma = 48 \cdot P / 54 = 48 \cdot 49,33 / 54 = 43,91 \text{ кг/т}$$

мұндағы 48,54 -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  оттегі мен алюминийдің молярлық массасы , г/моль.

Оттегі бөлігі бөлінеді:

$$\sigma_{\text{CO}_2} = 43,85 \cdot 2 \cdot 70 / (2 \cdot 70 + 30) = 36,16 \text{ г/моль}$$

$$\sigma_{\text{CO}} = 43,85 \cdot 30 / (2 \cdot 70 + 30) = 7,74 \text{ г/моль}$$

Көміртегі мөлшері:

$$\sigma'_{CO_2} = 36,11 \cdot 12 / (2 \cdot 16) = 13,56 \text{ г/моль}$$

$$\sigma'_{CO} = 7,74 \cdot 12 / 16 = 5,81 \text{ г/моль}$$

Сағатына 49,33 кг алюминий шикізатын алған кезде (кг/сағ) бөлінеді:

$$\sigma_{CO_2} + \sigma'_{CO_2} = 36,11 + 13,54 = 49,72 \text{ кг/сағ}$$

$$\sigma_{CO} + \sigma'_{CO} = 7,74 + 5,85 = 13,56 \text{ кг/сағ}$$

Күйдірілген анодтардың шығындары кокстеу газдарымен және механикалық шығындармен байланысты (кг/сағ)):

$$\begin{aligned} KA_{\text{шығын}} &= 0,58 \cdot 49,33 - \sigma'_{CO_2} - \sigma'_{CO} - 6,92 = \\ &= 28,65 - 13,56 - 5,81 - 6,92 = 2,36 \text{ кг/сағ} \end{aligned}$$

### 3 Кесте - Шикізат шығыны

Кіріс	Кг/сағ	%	ШЫҒЫН	Кг/сағ	%
Глинозем	95,34	76,3	Алюминий	49,4	39,5
Күйдірілгенанод	28,65	22,93	Анодты газ:		
			-CO <sub>2</sub>	49,72	39,8
Фторлы тұздар	0,97	0,77	-CO	13,56	10,9
			ШЫҒЫН:		
			-глинозем	1,98	1,6
			-фтор	0,96	0,8
			-анод	2,36	1,9
			-күйінді	6,92	5,5
Жалпы	124,92	100	Жалпы	124,88	100

## 2.10 Негізгі және қосалқы жабдықтарды есептеу

Есептеу үшін келесі деректер пайдаланылады:

- Ток шығымы 95%;
- Орташа кернеу 4,5В;
- Жылдық өнімділік 150000т/жыл.

Электролизердің бір тәуліктегі өнімділік:

$$Q = q \cdot I \cdot \eta_T \cdot \tau$$

$$Q_{\text{тәу}} = 0,3356 \cdot 300000 \cdot 0,95 \cdot 24 \cdot 10^6 = 2,29550 \text{ т/тәу}$$

Электролизердің жылдық өнімділігі:

$$Q_{\text{жыл}} = 2,29550 \cdot 365 = 837,85 \text{ т/жыл}$$

Жылдық бағдарламаны орындау үшін қажетті электролизерлер:

$$n = 300000/Q_{\text{жыл}} = 300000/837,85 = 358 \text{ дана}$$

Күрделі жөндеудегі ванналар саны:

$$N_{\text{кж}} = n \cdot L / 365 \cdot T$$

$$N_{\text{кж}} = 358 \cdot 15 / 365 \cdot 4,5 = 3,27 \text{ дана}$$

$$N_{\text{уст}} = 358 + 4 = 362 \text{ дана}$$

Жұмыс істейтін электролизерлердің санын мына теңдеу бойынша :

$$N_{\text{ж}} = \frac{\varepsilon_{\text{н}} - (\varepsilon_{\text{ж}} + \varepsilon_{\text{а}} + \varepsilon_{\text{р}})}{U_{\text{орт}} - U_{\text{аэ}}}$$

$$N_{\text{ж}} = \frac{850 - (8,5 + 40 + 12,3)}{4,123 - 0,035} = 193 \text{ дана}$$

Электролизердің серия саны:

$$N_{\text{сер}} = N_{\text{кж}} / N_{\text{ж}} = 362 / 193 = 1,87 \approx 2 \text{ дана}$$

4 Кесте - Жобалық көрсеткіштер

Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Мәні
Жылдық өнімділік	мың.жыл	150
Орнатылатын электролизерлер саны	дана	384
Жұмыс істейтін электролизерлар саңы	дана	380
Ток күші	кА	300
Ток шығымы	%	95
Энергия шығымы	%	27
Жұмыс кернеуі	В	4.123
Электр энергиясының шығыны	кВт·сағ/т	14114

Цехтың нақты жылдық өнімділігі:

$$Q_{\text{нақты}} = n \cdot Q_{\text{жыл}} = 380 / 837,85 = 453542 \text{ т/жыл}$$

## ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытындылай келе, дипломдық жоба бойынша алюминийді электролиз әдісі арқылы алуды зерттедік. Зерттеу барысында алюминий электролиз цехының жобасын қарастырып, әдістің тиімділігіне көз жеткіздік. Жоба барысында конструктивті және техникалық есептеулер жүргізіп, электролизердің, фтордың материалдық балансын, шығыны мен кірісін және жылдық өнімділігін есептедік. Алюминийді электролиз арқылы алуды көптеген кәсіпорындарда өнеркәсіптік игерілген және алюминий металлургиясы орасан зор өзгерістерге қарамастан, бұл процесс айтарлықтай жетілдіруді қажет етеді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия легких металлов. – М.: МЕталлургия, 1997. – 430 с.
- 2 Авдеев В. А. Основы проектирования металлургических заводов: справочное издание / В. А. Авдеев, В. М.Друян, Б.И. Кудрин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
- 3 Ибрагимов А.Т. Электрометаллургия алюминия. Казахстанский электролизный завод / А.Т. Ибрагимов, Р.В. Пак. – Павлодар, 2009 – 200 с.
- 4 Горланов Е.С., Баранцев А.Г. Способ получения и поддержания содержащего бориды тугоплавких металлов защитного покрытия углеродистых блоков // Патент России №2221086. 01.10.2004.
- 5 Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в цехах электролитического производства алюминия, оборудованных электролизерами с предварительно обожженными анодами. – Л.: ВАМИ, 1990. – 60 с.
- 6 Бегунов А.И. Проблемы модернизации алюминиевых электролизеров. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2000. –85 с.
- 7 Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электрометаллургия алюминия и магния. – М.: Металлургия, 1987. – 320 с.