

Ramil İlham oğlu HƏSƏNOV

Azərbaycan Texnologiya Universitetinin doktorantı

E-mail: r.hasanov@uteca.edu.az

ORCID: 0000-0003-4267-7039

ALÜMINIUM SƏNAYESİNƏ ƏSAS İSTEHSAL TEXNOLOGİYALARI VƏ ENERJİ TƏMİNATI ÜZƏRİNDƏN BAXIŞ

Xülasə

Alüminium sənayesinin əsasında onun texnoloji prosesləri dayanır. Geniş təchizat zənciri sistemində malik bu proseslərdə ənənəvi texnologiyalarla modern innovasiyaların ümumi vəhdəti formalaşmışdır. Alüminiumun istehsal texnologiyası böyük bir elmi-praktiki məktəbdir və onun sənayedə alınması bir sıra mürəkkəb proseslər daxilində baş verir. Eyni zamanda, alüminium sənayesində yaşıl təchizat zənciri sisteminin ən böyük yükü də məhz istehsal texnologiyalarına aid proseslərin üzərinə düşür.

Məqalədə ilk olaraq əsas istiqamət kimi ilkin alüminium istehsalının ərsəyə gəlməsinə səbəb olan istehsal texnologiyalarına baxış həyata keçirilmişdir. Eko-iqtisadi strategiyaların əsas tətbiq mərkəzi məhz istehsal prosesləridir. Tədqiqat işinin məqsədi elmi-texnoloji icmalı təqdim etməklə yanaşı, yaşıl strategiyaların və innovasiyaların əsasında dayanan enerji təminatı problemini lakonik formada analiz etməkdir. Alüminium sənayesi üzrə yaşıl təchizat zənciri idarəetməsinin təməlinə məhz enerji məsələləri dayanır.

Açar sözlər: alüminium sənayesi, texnologiya, enerji, istehsal, yaşıl iqtisadiyyat, yaşıl təchizat zənciri idarəetməsi.

UOT: 338.1, 338.3.

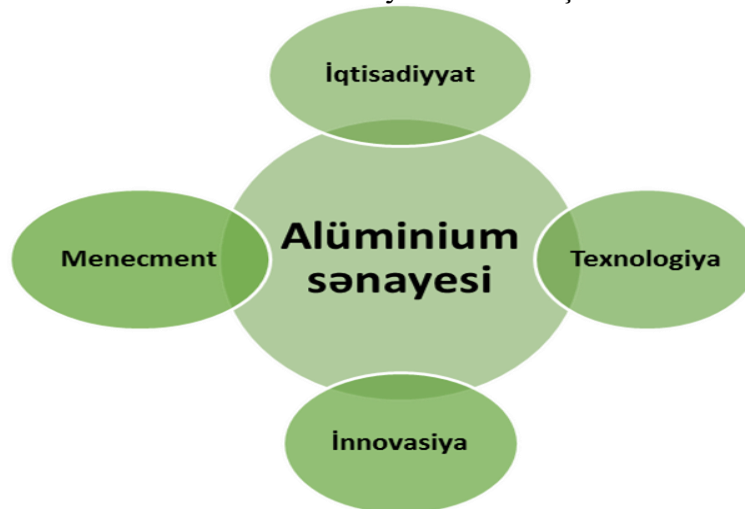
JEL: M11, L61, Q50.

Giriş

Modern dünyadakı iqtisadi proseslər və innovativ idarəetmə mühiti müxtəlif elmi tədqiqat sahələrini bir-birinə yaxınlaşdırmışdır. Hətta bir çox örnəklərdə müxtəlif tədqiqat sahələrini sıx

bağlılığa gətirib çıxartmışdır. Qlobal iqtisadiyyatın strateji sahələrindən olan və eyni zamanda, geniş istehsal yükünə malik alüminium sənayesini bu baxımdan xüsusi qeyd etmək olar. Alüminium sənaye zənciri bir sıra aktual tədqiqat istiqamətləri vahid məkanda birləşdirmişdir.

Şəkil 1. Səmərəli alüminium sənayesini formalaşdıran əsas amillər.



Bu vektorlar üzrə bir sıra daxili amillər də bir-birinə korrelyasiya şəklində fəaliyyət göstərir.

Məsələn, istehsalın baş verdiyi texnoloji proseslər iqtisadiyyat, innovasiya və idarəçilikdən təkan götürür. Müasir elmin əsas çağırışlarından

olan yaşıl iqtisadiyyat, təchizat zənciri idarə etməsi, enerji problemi və innovasiya amilləri alüminium sənayesinin aktual mövzularıdır və birbaşa bu yeniliklərin baş verdiyi sahə texnoloji proseslərdir.

Texnoloji proseslərdə baş verən enerji göstəriciləri, istixana qazları emissiyalarının miqdarı və mövcud problemlərə dair innovativ təkliflərin verilməsi yaşıl alüminium üzrə əsas tədqiqat istiqamətləridir.

Nəzəri əsas və ədəbiyyat icmalı

Alüminium sənayedə birbaşa emal üsulu ilə əldə edilmir və mürəkkəb texnoloji istehsal zənciri sisteminə malikdir. Alüminium sənayesinin ilk ən böyük mərhələsi alüminium oksidin (Al_2O_3) alınması prosesidir. Səfərov C.İ. və digərləri (2019) [1] tərəfindən boksit filizinin işlənməsi və Bayer üsulu texnologiyası ilə alüminium oksidin alınması geniş formada tədqiq edilib. Lumley R. (2011) [2] tərəfindən tərtib edilən geniş elmi məqalələr toplusunda isə bütünlükdə alüminium sənayesinin fundamental texnoloji əsasları vahid elmi platformada cəmləşdirilmişdir. Ekoloji standartlar və statistikalarla bağlı isə Beynəlxalq Enerji Agentliyi, BMT-nin Qlobal İqlim Dəyişikliyi ilə bağlı proqramları və Beynəlxalq Alüminium İnstitutunun (IEA) mövcud informasiya paylaşımalarına nəzər yetirmək lazımdır.

- **Alüminium istehsalı texnologiyaları**

Alüminium istehsalının birinci mərhələsi ilkin xammalın əldə edilməsi və kimyəvi emalı ilə

başlayır. İlkin mərhələnin ən çox istifadə olunan texnoloji sistemi Bayer prosesidir. Burada əsas alüminium xammalı hesab olunan boksit (alüminium filizi) emal edilir. Bayer prosesi hazırda dominant kommersiya prosesidir və alüminium oksidinin 95%-dən çoxu bu üsulla istehsal olunur (Safarian J., 2016) [3].

Digər texnoloji üsullarda isə xammal kimi alunitdən istifadə olunur. Bu metoddan mövcud daxili xammal yataqlarına uyğun Azərbaycan yararlanmışdı. Boksitdən təxminən 40-60% arası alüminium oksid alındığından ən sərfəli xammal hesab olunur. Azəralüminium şirkəti öz gələcək planlamalarında yeni texnologiyalar əsasında alunitdən alüminium oksid alınması layihələri üzərində tədqiqatlarını davam etdirir (Azeraluminium, 2023) [4].

Alüminium oksidinin alınması prosesi həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İqtisadi əhəmiyyəti odur ki, istehsal və təchizat zəncirinin başlanğıcında Bayer prosesinin çəkisi böyükdür. İqtisadi səmərəliliyin və ilkin xammal emalının əsas mərhələsi olan Bayer prosesi, eyni zamanda ətraf mühitə də ən çox təsiri olması ilə seçilir. Texnoloji zəncirin bu hissəsində istixana qazlarının emissiyası problemi alüminium sənayesi ilə bağlı beynəlxalq elmi araşdırmaların əsas predmetlərindəndir və bir çox aktiv qlobal layihələr vardır ki, məqsədi mümkün qədər CO_2 qazının tullantılarını azaltmaqdır.



Şəkil 2. Gəncə Alüminium Kompleksində əsaslı təmir üçün sökülmüş və istehsalda olan elektroliz vannaları.

Alüminium istehsalı prosesinin ikinci böyük mərhələsi elektroliz üsulu ilə maye halda saf alüminium metalının alınmasıdır. Bu prosesin məğzi alüminium oksidinin ərinti halda təmiz alüminiuma çevrilməsidir. Bu texnoloji istehsal

mərhələsi isə Hall-Ero prosesi vasitəsilə həyata keçirilir. Alüminium sənayedə alüminium oksidinin ərimiş kriolitdə (6-8% Al_2O_3 və 92-94% Na_3AlF_6) məhlulunu təxminən $950^{\circ}C$ temperatürdə elektroliz etməklə alınır. Hall-Ero prosesi

sıra ilə düzülən elektroliz vannalarından ibarət əritmə zavodunda həyata keçirilir. Alüminium oksidinin metal alüminium halına salınması elektroliz vannalarında baş verir. Elektroliz vannasında alüminium oksidinin kristalları 960-970°C temperaturda ərimiş kriolitdə həll edilir və prosesdən 4-6 volt, 100,000-230,000 amper gücündə sabit cərəyan keçir (Madehow, 2023) [5]. Elektroliz vannalarında iş prosesi il boyu dayanmadan fasiləsiz halda davam edir. Hall-Ero prosesi nəticəsində elektroliz vannasında toplanan 99,8% alüminium mayesi saxlanma sobalarına köçürülür və bundan sonra istehsalın növbəti mərhələsi başlayır.

Hall-Ero prosesinin iqtisadi önəmi artıq saf alüminiumun alınmasıdır. Bundan sonrakı məqsəd yarım-fabrikat istehsalına yönəlib xammalın yeni emalından əlavə gəlir qazanmaqdır.

Maye halda saf alüminium alındıqdan sonra növbəti texnoloji proseslər başlayır. İlk növbədə maye alüminium saxlama sobalarından külçələrə tökülür. Digər texnoloji prosesdə isə alüminium rulon və başqa hansısa formalı yarım-fabrikat məhsullara çevrilir.

Alüminium istehsal üsuluna görə 2 əsas qrupda təsnifatlandırılır: Deformasiya olunan və tökmə. Təzyiq altında emal edilməklə müxtəlif yarım-fabrikat materiallar (təbəqə metal, boru, məftil və s.) əldə edilir.

İsti yayma prosesi alüminium ərintilərinin saxlama sobalarından müəyyən qalınlıqda (6-8 mm) rulonlara çevrildiyi texnoloji emal prosesi-dir. Alüminium markalar bu prosesdə alınır. Ərinti halında olarkən saf alüminium ərintisinə tələb olunan marka üzrə bir sıra digər elementlər qatılır. Laboratoriyalarda verilən analizlərlə tərkib müəyyən edilir və maye alüminium isti halda yavaş sürətlə rulon formasına salınıb dolanır. Nəticədə təxminən 10 ton çəkisində rulon alüminium istehsal edilmiş olur. İsti yayma prosesi adətən 2 val sistemi ilə həyata keçirilir. Maye alüminium ölçü standartlarına uyğun prosedurlar həyata keçirildikdən sonra yayma sistemində bərk hala çevrilib rulon halına gətirilir. Alüminium istehsalının növbəti önəmli fazası soyuq yayma prosesidir. İsti yayma sexindən çıxmış rulonlar növbəti prosesdə alıcı tələblərinə uyğun müxtəlif qalınlıq ölçülərinə (8mm-dən 0.15 qalınlığa) qədər soyuq halda yüksək sürətlə yayılır.

Soyuq yayma prosesi də eynilə isti yayma

kimi daha çox 2 vallı sistemə əsaslanır. Texnoloji prosesin məğzi soyuq halda fiziki güc hesabına alüminium rulonların emalıdır. Məhz bu səbəbdən soyuq yayma sexləri təzyiqlə emal zavodları adlanır. Bu prosesdə rulon alüminium vallar arasında 1000 ton və hətta daha çox sıxma təzyiq yükü ilə deformasiya olunaraq daha nazik hala salınır. Açıq və dolayıcı valların dartma qüvvəsi də burda mühüm rol oynayır. Prinsip etibarilə metal alüminium saqqız kimi uzununa dartılaraq yayılır. Alüminium rulonların soyuq halda vallar arasında deformasiya oluna bilməsinin, sürtünmə və temperaturun qalxması kimi halların olmamasının, səthi hamarlıq və şəffaflığının təminatçısı kerosin tərkibli sərinləşdirici mayenin (coolant oil) yüksək təzyiqlə yayma vallar arasına üfürülməsidir. Nəqliyyatda, struktur komponentlərdə, qablaşdırmada, elektronkada və maşın hissələrində müxtəlif tətbiqlər üçün isti yayma və soyuq yayma prosesi ilə əldə olunan alüminium məhsulları geniş istifadə olunur (Krause K., Seifert O., 2014) [6].

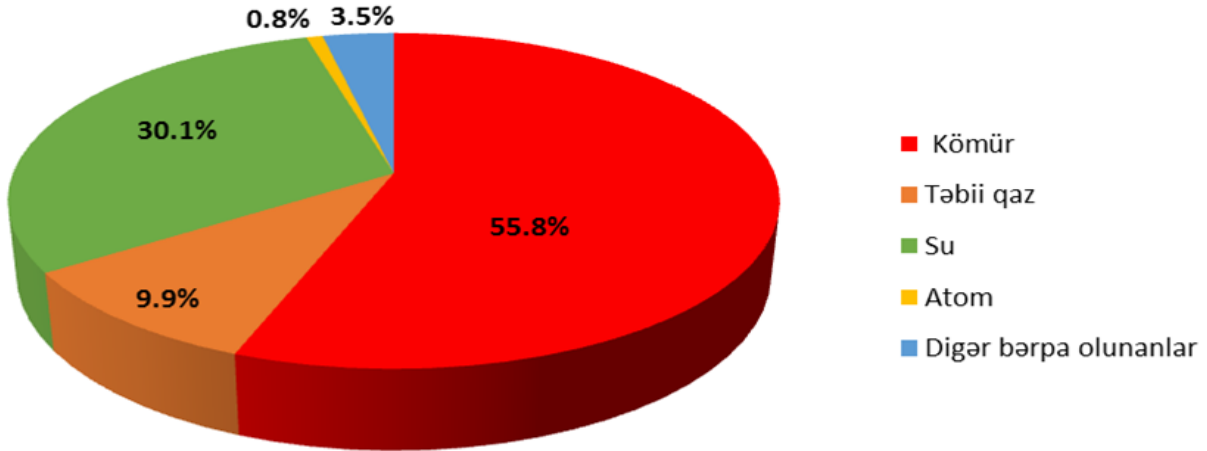
• Enerji təminatı

Alüminium sənayesinin ən önəmli eko-iqtisadi göstəricisi enerji problemdir. Alüminium istehsalı prosesi zamanı ən çox CO2 emissiyaları birbaşa alüminium istehsalından deyil, onun üçün gərəkli olan enerji təminatından atmosfərə buraxılır. 1 ton alüminium istehsalı üçün buraxılan CO2 miqdarı 20 tona qədər qalxa bilər. Burada əsas məsələ alüminium istehsalı üçün tələb olunan enerjinin hansı mənbələr əsasında əldə edilməsidir. Qlobal iqlim dəyişikliyi problemi üzrə tədqiqatçıları əsas narahat edən məsələ alüminium istehsalı üçün gərəkli olan enerji tələbatının daha çox yanacaq ilə işləyən İES-lər əsasında təmin edilməsidir. Xüsusən də kömür və neftlə işləyən İES-lər ən çox istixana qazları buraxan təsisatlar hesab olunur.

Yaşıl istehsal zənciri prinsiplərinə nəzər yetirsək Hall-Ero prosesinin, yəni elektroliz üsulunun ən böyük xərci elektrik enerjisi sərfiyyatı və yaranan CO2 qazlarıdır. Eko-iqtisadi səmərəliliyi artırmaq üçün bu sahədə ediləcək ixtira və innovasiyalar böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Elektroliz üsulu ilə alüminium istehsalı üçün böyük miqdar elektrik enerjisi tələb olunur. 1 kq alüminium istehsalı üçün dünya ortalamasında təxminən 13-15 kilovat-saat enerji tələb olunur. (Kvande et al, 2014) [8]. Bu səbəbdən elektrik

enerjisinin dəyəri alüminium əridilməsi xərclərinin təxminən üçdə birini təşkil edir.



Statistik mənbə: IEA [7].

Qrafik 1. Alüminium istehsalında istifadə olunan elektrik enerjisi mənbələri (2020).

Qlobal iqlim dəyişikliyi ilə bağlı yaşıl strategiyalar son zamanlar dünyanın siyasi-iqtisadi gündəminin əsas mövzularından birinə çevrilmişdir. Avropanın əsas hədəfində 2050-ci il üçün 0% emissiya strategiyası mövcuddur (EU, 2020) [9]. Bu strategiyalar qlobal biznes mühitinə də ciddi təsir göstərməyə başlayıb. ABŞ və Avropa bazarlarında alüminium istehsalçıların hansı enerji mənbələrindən istifadə etməsinin ciddi formada araşdırılması son zamanlar artmışdır. Yaşıl standartlara malik olmayan bir sıra şirkətlərin məhsullarının idxalına sərhədlənmələr qoyulur. Bu baxımdan alüminium sənayesi üçün dayanıqlı gələcəyin təminatında yaşıl innovasiyaların tətbiqi gərəkli amilə çevriləcəkdir.

Yaşıl alüminium sənayesinin formalaşdırılması qlobal alüminium institutları və böyük şirkətlərin əsas strategiyaları daxilindədir. Alüminium sənayesi üzrə yaşıl innovasiyalar üçün 2 əsas istiqamət mövcuddur:

1. Alüminium zavodlarının elektrik təminatının bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanması.

2. İstehsal prosesi daxilində karbon emissiyalarının minimuma endirilməsi.

Dünya İqtisadi Forumu dayanıqlı alüminium sənayesinin formalaşdırılması üçün 5 əsas prioritet müəyyən etmişdir (Weforum, 2022):

1. Alüminiumun təkrar emalı şəbəkələrini təşviq etmək və daha da genişləndirmək.

2. Xərcləri azaltmaq və yaşıl texnologiyaların kommersiya hazırlığını artırmaq üçün aşağı emissiyalı layihələrin sayını artırmaq.

3. Aşağı emissiyalı alüminium istehsalını təmin etmək üçün tələb olunan enerji tutumunu və təminat-təchizat infrastrukturlarını inkişaf etdirmək.

4. İstehsalçıları və investorları kapitalı aşağı emissiyalı istehsal aktivlərinə yönəltməyə həvəsləndirmək üçün yaşıl alüminium üçün tələb siqnalları çoxaltmaq.

5. Yuxarıdakı dörd prioriteti dəstəkləmək üçün siyasi strategiyalar hazırlamaq və aşağı emissiyalı alüminium istehsalı üçün iş şəraitini gücləndirmək.

Bir sıra qlobal şirkətlər başlıca tədqiqat institutları ilə birlikdə gələcək dayanıqlı inkişaf naminə bir sıra innovativ layihələr üzərində çalışırlar. Hydro, Alcoa, Rusal kimi aparıcı alüminium şirkətlərini buna misal göstərmək olar. Elektroliz prosesi zamanı 0% CO₂ emissiyasına malik "Inert Anode" texnologiyası yaşıl alüminium sənayesi üzrə inqilabi layihələrdəndir. Karbon tərkibli anod bloklardan istifadənin azaldılması emissiyaları kəskin azalda bilər və gələcəkdə inert anodlarla CO₂ emissiyaları minimuma endirilə bilər. İstehsal xərclərini 40% artıracığı təxmin edilən istilik enerjisi və texnoloji emissiyalar üçün CCUS-dan istifadə istisna olmaqla, aşağı emissiyalı alüminium texnologiyaları üçün xərc təxminləri onların erkən yetkinlik mərhələsinə görə, əsasən məlum deyil.

Nəticə

Tədqiqat işində alüminium sənayesinin nəbzinə texnoloji və enerji sektoru üzərindən

toxunulmuşdur. Qlobal perspektivdən yanaşılaraq yazıda iqtisadi, texnoloji və ekoloji idarəetmə üzərindən mühüm sintez xüsusiyyətləri təməl olaraq təsvir edilmişdir. Məqalənin əsas hədəfi Azərbaycan iqtisadiyyatı üçün də mühüm əhəmiyyət kəsb edən strateji alüminium sənayesinin qlobal trendlərə uyğun elmi-tədqiqat sferasında işıqlandırılmasıdır. Elmi işin əsas yeniliyi qlobal müstəvidə az toxunulmuş problemə təməl prizmadan baxışın keçirilməsidir.

Modern dünya elminin əsas aktual problemlərindən olan yaşıl strategiyaların alüminium sənayesi üzərindən tədqiq edilməsinə ehtiyac vardır. Məqalədə bir sıra önəmli statistik əsaslardan bu mövzunun elmi icmalı və qısa analizi həyata keçirilmişdir. Enerji və birbaşa istehsal prosesləri çərçivəsində yaranan aktual problemlərə yeni təklif kimi bir sıra strategiyaların təsnifatı irəli sürülmüşdür. Eyni zamanda, yekun olaraq gələcək innovativ inqilabi layihə və strategiyaların zəruriliyinə işarə edilmişdir.

ƏDƏBİYYAT SIYAHISI:

1. Səfərov C.İ., Cavadov M.Y., Əsgərov A.Z. (2019). Alüminium I hissə. Dərs vəsaiti. Bakı, ATU. 224 s.
2. Lumley R. (2011). Fundamentals of aluminium metallurgy. Production, processing and applications. Woodhead Publishing Limited. ISBN 978-1-84569-654-2 (print), ISBN 978-0-85709-025-6 (online).
3. Safarian J., Kolbeinsen L. (2016). Sustainability in alumina production from bauxite.

Sustainable industrial processing summit and exhibition. Norwegian University of Science and Technology, Alfred Getz Vei 2, No-7491 Trondheim, Norway.

4. Aeraluminium (2023). Biz kimik. <https://azeraluminium.com/az/haqqimizda/biz-kimik/>
5. Madehow (2023). Aluminum. The Hall-Heroult process. <http://www.madehow.com/Volume-5/Aluminum.html>
6. Karhausen K. & Seiferth O. (2014). Aluminium Hot and Cold Rolling. In: Mang, T. (eds) Encyclopedia of Lubricants and Lubrication. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-22647-2_304
7. IEA (2022). Aluminium. <https://www.iea.org/reports/aluminium>
8. Kvande et al. (2014). The Aluminum Smelting Process and Innovative Alternative Technologies. Journal of Occupational and Environmental Medicine 56():p S23-S32. <http://dx.doi.org/10.1097/JOM.000000000000062>
9. EU (2020). Climate Change. 2050 long-term strategy. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en
10. Weforum (2022). The Net-Zero Industry Tracker. Aluminium Industry. <https://www.weforum.org/reports/the-net-zero-industry-tracker/full/aluminium-industry/>

Ramil İlham HASANOV

Ph.D. student of Azerbaijan Technological University

E-mail: r.hasanov@uteca.edu.az

ORCID: 0000-0003-4267-7039

ALUMINUM INDUSTRY OVERVIEW OF KEY PRODUCTION TECHNOLOGIES AND ENERGY SUPPLY

Abstract

The aluminum industry is based on its technological processes. In these processes with a wide supply chain system, a common unity of traditional technologies and modern innovations has been formed. The production technology of aluminum is a large scientific-practical field, and its acquisition in the industry takes place within a number of complex processes. At the same time, the biggest burden of the green supply chain system in the aluminum industry falls on the processes related to production technologies.

The article first reviewed the production technologies that led to the creation of primary aluminum production as the main direction. Production processes are the primary application center for eco-economic strategies. The goal of the research is to provide a scientific and technological overview as well as a

laconic analysis of the energy supply problem, which is the foundation of green strategies and innovations. Energy issues are at the heart of green supply chain management in the aluminum industry.

Keywords: aluminum industry, technology, energy, production, green economy, green supply chain management.

Рамиль Ильхам ГАСАНОВ

Диссертант Азербайджанского Технологического Университета

E-mail: r.hasanov@uteca.edu.az

ORCID: 0000-0003-4267-7039

АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Резюме

Алюминиевая промышленность основана на своих технологических процессах. В этих процессах с широкой системой цепочек поставок сформировалось общее единство традиционных технологий и современных инноваций. Технология производства алюминия представляет собой большую научно-практическую область, а его получение в промышленности происходит в рамках ряда сложных процессов. При этом самая большая нагрузка системы «зеленых» цепочек поставок в алюминиевой отрасли ложится на процессы, связанные с технологиями производства.

В статье впервые рассмотрены технологии производства, которые привели к созданию производства первичного алюминия как основного направления. Производственные процессы являются основным центром применения эколого-экономических стратегий. Цель исследования – дать научно-технический обзор, а также лаконичный анализ проблемы энергообеспечения, лежащей в основе «зеленых» стратегий и инноваций. Вопросы энергетики лежат в основе экологически безопасного управления цепочками поставок в алюминиевой промышленности.

Ключевые слова: алюминиевая промышленность, технологии, энергетика, производство, «зеленая» экономика, «зеленое» управление цепочками поставок.