



Статистика, учет и аудит, 4(99)2025. стр. 87-103

DOI: <https://doi.org/10.51579/1563-2415.2025.-4.07>

Экономикадағы пәнаралық зерттеулер

FTAMP 06.71.03

ӨОЖ 338.012

## ЖАҒАНДЫҚ КЛИМАТТЫҚ БАСТАМАЛАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ҚАРА МЕТАЛЛУРГИЯ САЛАСЫН ДАМУДЫҢ 2035 ЖЫЛҒА ДЕЙІНГІ СЦЕНАРИЙЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

*Т.С. Тажибаяв<sup>1</sup>, А.М.Есиркепова<sup>1\*</sup>, И.С.Полежаева<sup>1</sup>, М.Т.Кальменова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>М.О.Әуезов атындағы Оңтүстік қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<sup>2</sup>И. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

\*Corresponding author e-mail: [essirkepova@mail.ru](mailto:essirkepova@mail.ru)

**Аңдатпа.** Қара металлургия жағандық төмен көміртекті экономиканың қалыптасуының қазіргі жағдайында трансформациялық процестер жүйесінде орталық орындардың бірін алады. Халықаралық ұйымдардың (IPCC, IEA, UNFCCC) бағалауларына сәйкес, бұл сектор парниктік газдар шығарындыларының әлемдік көлемінің шамамен 7-9% құрайды, бұл өндірістің технологиялық ерекшелігіне (көміртекті көп қажет ететін домендік процестерді басым пайдалану) және өндірістік циклдің жоғары энергия сыйымдылығына байланысты. Халықаралық Климаттық күн тәртібі тарапынан өсіп келе жатқан қысым жағдайында көміртекті көп қажет ететін салаларға экологиялық және реттеуші талаптар күшейтіледі. Атап айтқанда, 2026 жылдан бастап Еуропалық Одақта экспортқа бағдарланған металлургиясы бар елдер үшін жаңа сын-тегеуріндерді қалыптастыратын шығарындылары жоғары импортталатын өнімге көміртекті түзетулерді қолдануды көздейтін трансшекаралық көміртекті реттеу тетігі (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) енгізілуде. Осы зерттеудің негізгі мақсаты Климаттық шектеулер кешенін, халықаралық міндеттемелерді және ESG-трансформацияға бағдарланған ішкі өнеркәсіптік саясат векторын ескере отырып, 2035 жылға дейінгі көкжиекте саланың тұрақты дамуының экономикалық-талдамалық сценарийлерін әзірлеу болып табылады. Зерттеудің эмпирикалық базасын халықаралық ұйымдардың (IEA, World Steel Association) статистикалық материалдары, Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар жөніндегі агенттігінің ресми деректері, салалық есептер және жетекші металлургиялық компаниялардың ESG-есептілігі құрады. Зерттеудің ғылыми жаңалығы климаттық, экономикалық және институционалдық параметрлерді ескеретін қара металлургияның тұрақты дамуының кешенді сценарий моделін қалыптастыру болып табылады. Қолданыстағы жұмыстардан айырмашылығы, ESG факторларын саланы стратегиялық жоспарлау жүйесіне біріктіруге баса назар аударылады, бұл тек технологиялық перспективаларды ғана емес, сонымен қатар сценарийлерді іске асырудың институционалдық шарттарын бағалауға мүмкіндік береді. Ғылыми әдебиеттерде алғаш рет өтпелі экономика жағдайында экспортқа бағдарланған металлургия үшін трансшекаралық көміртекті реттеудің (CBAM) салдарын бағалаудың бейімделу моделі ұсынылды.

**Түйінді сөздер:** қара металлургия, көміртекті қарқындылық, CO<sub>2</sub> шығарындылары, төмен көміртекті экономика, трансшекаралық көміртекті реттеу (CBAM), климаттық күн тәртібі, энергия сыйымдылығы, экологиялық тәуекелдер, реттеу механизмдері.

**Cite this article as:** Tazhibayev T.S., Yessirkepova A.M., Polezhaeva I.S., Kalmenova M.T. Modeling scenarios for the development of the ferrous metallurgy industry until 2035, taking into account global climate initiatives. Statistics, accounting and audit. 2025, 4(99), 87-103. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51579/1563-2415.2025.-4.07>



**Негізгі ережелер.** Қара металлургия климаттық саясаттың өзгеруіне сезімтал көміртекті көп қажет ететін салалардың бірі болып қала береді. Халықаралық бастамаларды іске асыру жағдайында (Париж келісімі, CBAM) оны дамыту стратегиясын бейімдеу талап етіледі. Мақалада үш сценарийді қамтитын 2035 жылға дейінгі сценарийлік модельдеу жүйесі ұсынылған: негізгі, орташа жасыл және климаттық бейімделу. Модель жүйелік динамика принциптеріне негізделген және шығарындыларды, өндірістік қуаттарды және инвестициялық шығындарды ескереді. Нәтижелер технологиялық жаңғырту, мемлекеттік қолдау және «жасыл» капиталды тарту жағдайында тұрақты даму мүмкін екенін көрсетті. Алынған тұжырымдар саланы стратегиялық жоспарлау үшін практикалық маңызы бар.

**Кіріспе.** Өсіп келе жатқан климаттық тұрақсыздық және көміртегі бейтараптығына қол жеткізу жөніндегі халықаралық бастамалардың жандануы жағдайында өнеркәсіп секторы Жаһандық экологиялық, нормативтік және инвестициялық трендтер тарапынан қысымның артуын сезінуде. Бұл трансформацияда қара металлургия ерекше орын алады - бұл халықаралық энергетикалық агенттіктің бағалауы бойынша әлемдегі көмірқышқыл газы шығарындыларының 8%-на дейін жететін энергия мен ресурстарды тұтынатын салалардың бірі.

Париж келісімін, көміртекті трансшекаралық түзетудің Еуропалық механизмін (CBAM), сондай-ақ ESG есеп беру стандарттарын енгізуді қоса алғанда, қазіргі климаттық шектеулер металлургия саласынан даму стратегияларын түбегейлі қайта қарауды талап етеді. Сонымен қатар, белгісіздік жағдайында экономикалық талдаудың негізгі құралы технологиялық, институционалдық және реттеуші өзгерістердің әртүрлі траекторияларын ескеруге мүмкіндік беретін сценарийлік модельдеу болып табылады.

Әлемдік тәжірибеде металлургияның «жасыл» трансформациясына - инерциялық жаңғырту жолынан бастап сутегі және көміртексіз процестерге көшуді қоса алғанда, технологияларды түбегейлі ауыстыруға дейінгі көп бағытты тәсілдер қалыптасуда. Қара металлургия қосылған құн мен жұмыспен қамтудың едәуір бөлігін құрайтын экспортқа бағдарланған өнеркәсібі бар елдерде саланы дамытудың ықтимал сценарийлерін ғылыми тұрғыдан түсінудің өзектілігі артып келеді.

Бұл зерттеудің мақсаты жаһандық климаттық міндеттемелерді, өнеркәсіптік саясаттың ұлттық жағдайларын және декарбонизациялық технологияларды енгізудің экономикалық орындылығын ескере отырып, 2035 жылға дейін қара металлургияны дамыту сценарийлерін құру болып табылады. Жұмыстың әдіснамалық негізі жүйелік динамика, сандық модельдеу және сценарийлік алғышарттарды салыстырмалы талдау құралдарына негізделген. Алынған нәтижелер мемлекеттік институттар деңгейінде де, металлургиялық кәсіпорындарды корпоративтік басқару шеңберінде де стратегиялық жоспарлау үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Әдебиеттерге шолу.** Қазіргі ғылыми әдебиеттер қара металлургияның тұрақты дамуына, әсіресе климаттық реттеудің күшеюі және жаһандық энергетикалық архитектураның трансформациясы жағдайында қызығушылықтың тұрақты өсуін көрсетеді. Парниктік газдар шығарындыларын азайту жөніндегі халықаралық бастамаларды қарқындату экологиялық, технологиялық және институционалдық параметрлерді ескере отырып, сценарийлік модельдеуді талап ететін дәстүрлі өндірістік модельдерді терең трансформациялауды қажет етеді.

Scopus және Web of Science дерекқорларында ұсынылған соңғы жылдардағы басылымдар саланың декарбонизация сценарийлерін Стратегиялық жоспарлау мен бағалаудың маңыздылығын көрсетеді. Сонымен, J.-P. Birat [1] және A. Hasanbeigi мен C. Springer [2] бірге металлургияны технологиялық модернизациялауға, соның ішінде



қайталама ресурстарды пайдалануға және электрометаллургиялық процестерге көшуге бағытталған. Өз кезегінде, зерттеулер B. van Ruijven [3], сондай-ақ Y. Zheng [4] өндіріс жүйелерінің экологиялық тиімділігін арттыруда сутегі мен цифрлық технологиялардың (соның ішінде AI және IoT) әлеуетіне назар аударады.

Экономикалық және нарықтық құралдар арқылы институционалдық ортаны өзгертуге ерекше назар аударылады. K. Bruninx [5], сондай-ақ O. Sartor және C. Bataille [6] ETS жүйесін енгізудің еуропалық металлургия секторының тұрақтылығына әсерін қарастырады, бұл жаңа сауда және реттеу жағдайларына бейімделу қажеттілігін көрсетеді.

A. Hasanbeigi және W. Arens [2] жалпыланған зерттеуінде көміртекті азайтудың техникалық және экономикалық шараларының спектрі, соның ішінде доғалы болат балқыту пештеріне көшу және сынықтарды қайта өңдеуді тереңдету сипатталған. Өз кезегінде, H. Mandova [7] энергетикалық жүйелер мен инфрақұрылымның ерекшеліктерін ескере отырып, сценарийлік талдаудың аймақтық моделін жасады.

Өтпелі экономикалардағы сценарийлерді жоспарлау модельдері X. Zhang [8] жұмысында қарастырылады, онда фискалдық және технологиялық модельдеуді біріктіретін Қытай металлургиясының көміртекті бейтарап дамуына кешенді тәсіл ұсынылады. D. Gielen [9] зерттеуінде сутегі энергетикасының Қазақстанды қоса алғанда, ТМД елдерінің металлургиялық кешенін трансформациялаудың басым бағыты ретіндегі маңыздылығы негізделеді.

Қазақстандық авторлардың ғылыми жарияланымдары тұрақты металлургияның өзіндік күн тәртібін біртіндеп қалыптастыруда. А. К. Тілеубаевтың [10] жұмысы энергия тиімді және ресурс үнемдеуші технологияларды енгізу арқылы саланы жаңғырту қажеттігін атап көрсетеді. С. Н. Әуелбекованың зерттеуі [11] тұрақты даму облигацияларын шығаруды қоса алғанда, жасыл қаржыландыруды дамыту перспективаларын көрсетеді. ҚР ҰЭМ жанындағы экономикалық зерттеулер институтының баяндамасы [12] саланың жоғары көміртекті сыйымдылығын және сектордың болашақ дамуының сценарийлік негіздемесінің қажеттілігін белгілейді.

International Energy Agency (IEA), World Economic Forum (WEF) және OECD сияқты халықаралық ұйымдар соңғы жылдары металлургияны декарбонизациялау саласында аналитикалық қызметті жандандырды. Сонымен, IEA есебінде [13] саланы өзгертудің үш сценарийі ұсынылған: инерциялық, жеделдетілген және климаттық бейтарап. Олардың әрқайсысы технологиялық шешімдердің, саяси-құқықтық механизмдердің және нарықтық ынталандырудың әртүрлі комбинацияларын қамтиды. Бұл сценарийлер Қазақстан үшін оның ресурстық базасының ерекшелігін және металлургия өндірісінің құрылымын ескере отырып бейімделуі мүмкін.

Climate Strategies есебінде [14] көміртекті реттеу мен цифрлық трансформацияны қоса алғанда, климатқа бейімделу механизмдерін енгізбестен металлургиялық кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін төмендету тәуекелдерін атап көрсетеді. Авторлар сонымен қатар сценарийлік модельдеуді институционализациялауды талап етеді стратегиялық мемлекеттік және корпоративтік жоспарлау.

Осылайша, өзекті ғылыми зерттеулер сценарийлік модельдеуді климаттық белгісіздік пен технологиялық қиындықтар жағдайында стратегиялық басқарудың орталық құралы ретінде қарастырады. Алайда, дамыған экономикаларға бағдарланған жұмыстардың үстемдігі өтпелі экономикасы бар елдер, соның ішінде Қазақстан үшін осындай модельдерді бейімдеу және оқшаулау қажеттілігін туғызады. Көміртекті көп қажет ететін және отандық металлургияның экспорттық тәуелділігі жағдайында



адаптивті сценарийлерді ғылыми әзірлеу саланы тұрақты дамытудың негізгі міндетіне айналуға.

**Материалдар мен әдістер.** Зерттеу сценарийлік модельдеуге, шығарындыларды сандық бағалауға, эконометрикалық талдауға және салыстырмалы елдік benchmarking-ке негізделген. Қара металлургияны дамытудың үш балама сценарийі ұсынылған: инерциялық, орташа жасыл және климаттық бейімделгіш.

Бастапқы деректер төрт блок бойынша құрылымдалды:

- өндірістік-технологиялық: болат балқыту көлемі, технологиялық құрылым (bf-bof, eaf, dri), өндірістік қуаттарды жүктеу деңгейі, қайталама шикізат үлесі, жабдықтың орташа жасы;
- энергетикалық: энергия тұтыну, энергия көздерінің үлесі (көмір, газ, электр), энергия тиімділігі;
- экологиялық:  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NO_x$  және қатты бөлшектер шығарындылары, кәдеге жарату коэффициенті, iso 14001 сертификатталған кәсіпорындар үлесі;
- нормативтік-стратегиялық: esg-құжаттылық, «жасыл» қаржыландыру құралдары, cbam механизмі.
- Сценарийлік модельдеу коэффициенттері мен тәуелділіктері:
- Өндірістік-технологиялық тәуелділіктер:  $CO_2$  шығарындылары  $E_t$  өндіріс көлемі  $P_t$ , технологиялық құрылым  $T_t$  және қайталама шикізат үлесі  $R_t$  арқылы есептелді:

$$E_t = P_t \times (\alpha_{BF} \cdot f_{BF}(T_t) + \alpha_{EAF} \cdot f_{EAF}(T_t) + \alpha_{DRI} \cdot f_{DRI}(T_t)) \cdot (1 - R_t) \quad (1)$$

мұндағы  $\alpha_i$  - әр технология бойынша 1 тонна болатқа шаққандағы  $CO_2$  эмиссия коэффициенттері,  $f_i(T_t)$  - технология тиімділігі.

**1 кесте** – Сценарийлік коэффициенттер (2025–2035)

| Параметр                        | Инерциялық | Орташа жасыл | Климаттық бейімделгіш |
|---------------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| Инвестиция өсу жылдық (%)       | 2          | 5            | 8                     |
| $CO_2$ эмиссиясын төмендету (%) | 0-2        | 5-15         | 20-40                 |
| Цифрландыру деңгейі (%)         | <20        | 40-50        | >70                   |
| Қайталама шикізат үлесі (%)     | 20         | 25-35        | 40-50                 |

- Эконометрикалық бағалау: Инвестициялар мен инновациялардың  $CO_2$  шығарындыларына әсері көп айнымалы регрессиялық модель арқылы зерттелді:

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot I_t + \beta_2 \cdot C_t + \beta_3 \cdot D_t + \epsilon_t \quad (2)$$

мұндағы  $I_t$  - жаңғырту инвестициялары,  $C_t$  - климаттық саясатқа сәйкестік коэффициенті,  $D_t$  - цифрландыру деңгейі,  $\epsilon_t$  - кездейсоқ қателік.

Болжамдау құралдары:

- lca (life cycle assessment) - технологиялық типтер бойынша өндіріс кезеңдеріндегі  $CO_2$  шығарындыларын сандық бағалау;
- python (pandas, numpy, seaborn, matplotlib) - сценарийлік траекторияларды есептеу, деректерді өңдеу және визуализация;
- сараптамалық бағалау - сценарийлерді салалық және мемлекеттік стейкхолдерлермен тексеру;



#### Сценарийлердің сипаттамасы:

- инерциялық: ағымдағы өндірістік және институционалдық параметрлерді сақтауды көздейді, экологиялық жаңғырту шектеулі.
- орташа жасыл: энергия тиімді жабдыққа инвестициялар, өндірістерді цифрландыру және жартылай жаңғырту арқылы климаттық бастамаларды іске асыруды қамтамасыз етеді.
- климаттық бейімделгіш: кешенді технологиялық жаңғырту, esg-мониторинг автоматтандыру, «жасыл» жобалау және мемлекеттік ынталандыру арқылы шығарындыларды айтарлықтай төмендету.

**Нәтижелер және талқылау.** 2035 жылға дейін қара металлургияны дамытудың негізделген сценарийлерін қалыптастыру саланың ағымдағы жай-күйін, сондай-ақ оның институционалдық, энергетикалық және климаттық тәуелділіктерін көрсететін бастапқы статистикалық, нормативтік және технологиялық деректерді мұқият талдауды талап етеді. Осы зерттеу шеңберінде бастапқы деректер төрт негізгі блок бойынша құрылымдалған: өндірістік-технологиялық, энергетикалық, экологиялық және нормативтік-стратегиялық.

Жаһандық климаттық сын-қатерлер жағдайында қара металлургияның дамуын сценарийлік модельдеу үшін сенімді базаны қалыптастыру өндірістік-технологиялық индикаторларды кешенді талдауды талап етеді. Олардың негізгілері өнімнің негізгі түрлерін балқыту көлемі, қолданылатын технологиялардың құрылымы, өндірістік қуаттарды жүктеу деңгейі, металлургиялық циклдегі қайталама ресурстардың үлесі, сондай-ақ жабдықтың техникалық жағдайы болып табылады.

World Steel Association (2024) есебіне сәйкес, 2023 жылы болат балқытудың әлемдік көлемі 1,89 млрд тоннаны құрады, бұл 2022 жылғы деңгейден 4,2%-ға төмен. Бұл төмендеу, ең алдымен, ЭЫДҰ елдеріндегі экологиялық стандарттардың қатаңдатылуына, Қытайдың құрылыс секторындағы болатқа сұраныстың төмендеуіне, сондай-ақ энергия бағасының өсуіне байланысты. Бұл ретте технологиялардың құрылымы негізінен көміртекті қажетсінетін болып қалады: Болаттың 70%-дан астамы Домна-Конвертер схемасы (BF-BOF) бойынша өндірілген, электр доғалы пештердің (EAF) үлесі 27,7% құрайды.

Қазақстан Республикасы шамамен 5,7 млн тонна болат өндіруді қамтамасыз етті, бұл әлемдік көлемнің шамамен 0,3% құрайды. Қарапайым үлеске қарамастан, металлургия өнеркәсіптік ЖІӨ-нің 12%-дан астамын құрайтын ел экономикасының жүйе құраушы секторы болып қала береді. Өндіріс құрылымы негізінен дәстүрлі домендік технологиялар басым болатын тік интеграцияның ірі кәсіпорындарымен (ArcelorMittal Temirtau, Қазферросталь, Asia Steel Pipe, KSP Steel) ұсынылған (2-кесте).

**2 кесте** – Қазақстанның қара металлургиясының негізгі көрсеткіштері, 2019-2023 жж.

| Көрсеткіш                                    | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023* |
|----------------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Болат балқыту (млн т)                        | 4,42 | 4,56 | 6,28 | 5,70 | 595   |
| Прокат шығару (млн т)                        | 3,76 | 3,92 | 5,01 | 4,33 | 4,61  |
| Домендік технологияның үлесі (%)             | 82,1 | 81,5 | 80,2 | 80,0 | 78,4  |
| ЭДП үлесі (электр доғалы пештер, %)          | 17,9 | 18,5 | 19,8 | 20,0 | 21,6  |
| Қуаттарды жүктеу деңгейі (%)                 | 66,4 | 64,2 | 72,1 | 68,3 | 70,5  |
| Қайталама шикізатты пайдалану (%)            | 16,7 | 17,1 | 18,5 | 19,6 | 20,4  |
| Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [15] |      |      |      |      |       |



Динамикалық талдау және қайталама шикізат үлесінің ұлғаюына қарай қалыпты оң өзгерістерді көрсетеді. Алайда құрылымдық өзгерістердің қарқыны Климаттық мақсаттарды орындау және дамыған елдермен технологиялық конвергенцияға қол жеткізу үшін жеткіліксіз болып қала береді.

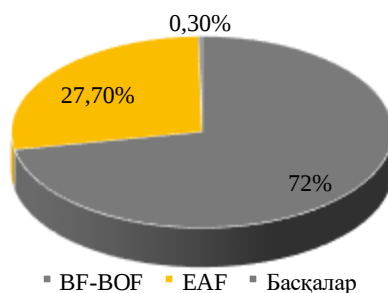
Қазақстан негізгі технологиялық өлшемдер бойынша ЭЫДҰ елдерінен едәуір төмен. Домна пештері мен ескірген жабдықтардың басым болуы көміртектің жоғары қарқындылығына және өндірістің төмен икемділігіне әкеледі. Төменде 2 жиынтық салыстыру 3-кестесі берілген.

**3 кесте** - Халықаралық салыстырмалы перспективадағы өндірістік-технологиялық параметрлер (2023 ж.)

| Параметр                                                              | Қазақстан | ЕО<br>(орташа) | Жапония | АҚШ | Қытай |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|---------|-----|-------|
| ЭДП үлесі (%)                                                         | 20        | 60             | 30      | 70  | 14    |
| 1 т болатқа арналған CO <sub>2</sub> эмиссиясы (t CO <sub>2</sub> /t) | 2,3       | 1,5            | 1,8     | 1,4 | 2,1   |
| Жабдықтың орташа жасы (жылдар)                                        | >25       | 15             | 14      | 12  | 10    |
| Шикізат балансындағы қайталама шикізаттың үлесі (%)                   | 20        | 55             | 25      | 65  | 18    |
| Технологиялық процестерді цифрландыру (%)                             | <20       | >70            | >60     | >80 | 50    |
| Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [15, 16]                      |           |                |         |     |       |

3-кестенің деректері металлургияның негізгі технологиялық параметрлері бойынша Қазақстанның елеулі артта қалуын көрсетеді. Электр доғалы пештердің үлесі небәрі 20% құрайды, ал ЕО мен АҚШ-та ол 60-70%-дан асады, бұл көміртекті қажетсіну деңгейіне тікелей әсер етеді: Қазақстанда ол ЭЫДҰ елдерінде 1,4-1,5 т-ға қарсы 2,3 т CO<sub>2</sub>/т болатқа жетеді. Жабдықтың жоғары орташа жасы (>25 жас) және қайталама шикізатты пайдаланудың төмен деңгейі статус-квоны сақтай отырып, декарбонизацияның шектеулі мүмкіндіктерін көрсетеді. Сонымен қатар, процестерді цифрландырудың төмен деңгейі (<20%) ESG құралдары мен инновациялық шешімдерді енгізуді тежейді. Осылайша, Қазақстанға саланың экологиялық және экономикалық тұрақтылығын арттыру үшін жеделдетілген технологиялық жаңғырту қажет.

Қазақстандағы домна пештерінің 65%-ға жуығы 25 жылдан астам уақыт бойы пайдаланылып келеді, ал ЭЫДҰ елдерінде БАТ (ең үздік қолжетімді технологиялар) инвестициялары бар жабдықтарды тұрақты ротациялау саясаты жұмыс істейді. Технологиялық парктің тозуы энергия шығынын арттырады, өнімділікті төмендетеді және темірді тікелей қалпына келтіру (DRI) немесе сутегі технологиясы сияқты декарбонизациялық шешімдерді енгізуге кедергі келтіреді (1, 2-сурет).

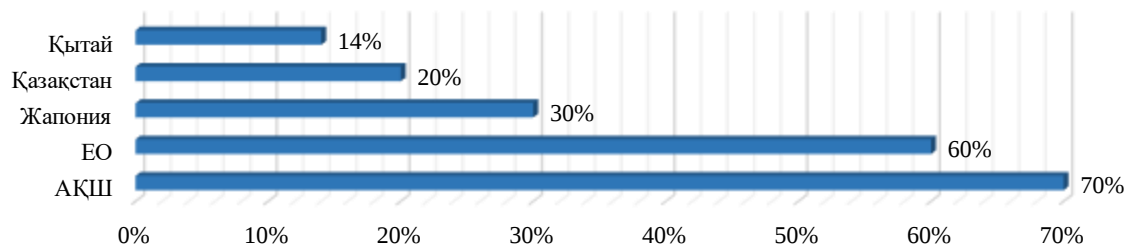


**1 сурет** – Өлемдегі болат балқыту технологияларының құрылымы, 2023 ж. (жалпы өндірістің, %)

Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [17, 18]



1-сурет әлемдік металлургиядағы домендік-Конвертерлік технологияның (BF-BOF) басымдылығын көрсетеді - 2022 жылы жалпы болат өндірісінің шамамен 72%. Төмен көміртекті технологияларға деген қызығушылықтың артуына қарамастан, электр доғалы пештер (EAF) тек 27,7% құрайды, бұл қайталама және экологиялық таза шикізат көздеріне жаһандық көшудің баяу қарқынын көрсетеді. Басқа технологиялар (DRI және индукциялық пештерді қоса алғанда) сала ауқымында елеусіз болып қала береді. Бұл құрылым сектордың жоғары көміртегі сыйымдылығын анықтайды, бұл оны климаттық шектеулерге және трансшекаралық көміртекті реттеуге осал етеді.



**2 сурет** – Болат балқыту өндірісінің құрылымындағы үлесі, 2023 ж.

Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [18]

2-сурет елдер арасындағы пайдалану үлесіндегі айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетеді. АҚШ пен ЕО-да электр доғалық технологиялар басым (тиісінше 70% және 60%), бұл металл сынықтарын белсенді қайта өңдеу және дөңгелек экономиканы қолдаумен байланысты. Жапонияда бұл көрсеткіш интеграцияланған комбинаттарға бағытталғандықтан төмен (30%). Қазақстан шамамен 20% үлесімен артта қалып отыр, бұл бастапқы шикізат пен дәстүрлі домендік технологияға тәуелділікті көрсетеді. Қытай, экологияландыруға инвестициялардың өсуіне қарамастан, домендік өндіріс көлеміне байланысты ЭДП-ның ең төменгі үлесін-шамамен 14% - сохран сақтайды.

Бұл деректер эмиссияларды төмендету және сыртқы реттеуші сын-қатерлерге төзімділікті арттыру мақсатында Қазақстанды қоса алғанда, көміртекті қажетсінетін металлургиясы бар елдерде технологиялық әртараптандыру қажеттігін атап көрсетеді.

Металлургия саласының негізгі технологиялық және энергетикалық сипаттамаларын салыстырмалы талдау Қазақстанның энергия тиімділігі мен төмен көміртекті өндіріс стандарттары жоғары елдерден ағымдағы артта қалуының ауқымын неғұрлым нақты айқындауға мүмкіндік береді. Кестеде көрсетілген көрсеткіштер отандық металлургияның энергия сыйымдылығының жоғары дәрежесін ғана емес, сонымен қатар қазіргі заманғы ресурс үнемдеуші және экологиялық технологияларды енгізудің жеткіліксіз деңгейін көрсетеді. Жетекші индустриялық мемлекеттер Қайталама энергетика мен баламалы энергия көздерін белсенді түрде біріктіріп отырса да, Қазақстанның металлургия секторы әлі де көміртегі өндірісіне айтарлықтай бағдарланған, бұл көміртегі ізін арттырады және жаһандық климаттық трансформация жағдайында оның тұрақтылығын төмендетеді. Бұл өндірістік базаны жаңғырту және технологиялық ауысуды мемлекеттік қолдауды күшейту қажеттілігін күшейтеді. Төмендегі 4-кестеде Қазақстан Республикасының халықаралық контекстегі ағымдағы жағдайын бейнелейтін салыстырмалы деректер келтірілген.



**4 кесте** – Қара металлургияның энергия тиімділігі мен көміртегі сыйымдылығының салыстырмалы көрсеткіштері: Қазақстан және жетекші индустриялық елдер

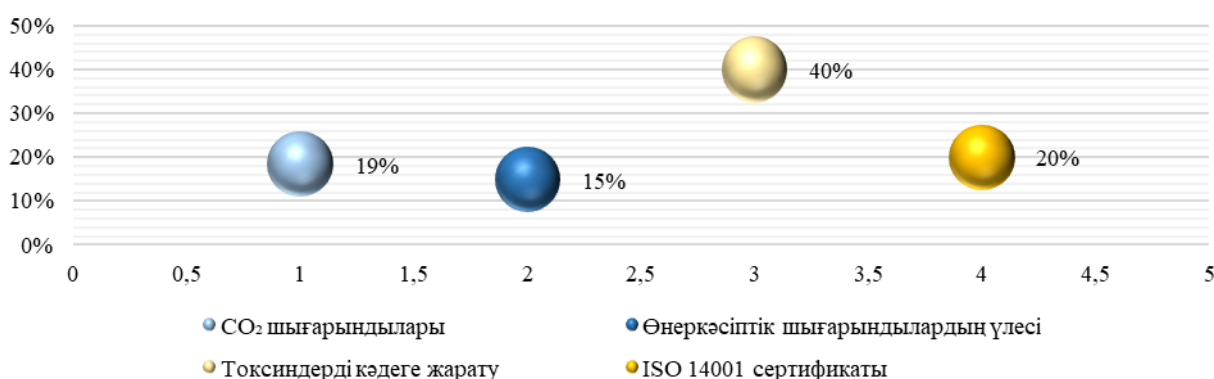
| Көрсеткіш                                        | Қазақстан | Германия | Жапония | Әлемдік орта |
|--------------------------------------------------|-----------|----------|---------|--------------|
| Болат өндірісінің энергия сыйымдылығы (ГДж / т)  | ~20       | ~15      | ~14     | ~20          |
| 1 т Болат (т) үшін CO <sub>2</sub> шығарындылары | ~1.9      | ~1.2     | ~1.1    | ~1.8         |
| Энергия теңгеріміндегі көмірдің үлесі (%)        | >60       | <25      | <15     | ~35          |
| Екінші энергияның үлесі (%)                      | 35–40     | 68       | 75      | ~50          |

Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [19]

Кестені талдау энергия тиімділігі мен көміртекті қажетсінудің негізгі көрсеткіштері бойынша Қазақстанның технологиялық дамыған елдерден айтарлықтай артта қалғанын көрсетеді. Қазақстандағы Болаттың бір тоннасына шаққандағы энергия тұтынуы мен CO<sub>2</sub> шығарындылары Германия мен Жапониядағы ұқсас мәндерден асып түседі, бұл энергия теңгеріміндегі көмірдің жоғары үлесіне байланысты (60%-дан астам). Қайталама энергияны пайдалану деңгейі төмен болып қалады (35-40%), бұл халықаралық тәжірибеден де төмен. Бұл айырмашылықтар саланың технологиялық инерциясын және сыртқы климаттық реттеудің күшеюі жағдайында шұғыл жаңғырту қажеттілігін растайды.

Қазақстан Республикасы қара металлургиясының экологиялық тұрақтылығын талдау парниктік және ластаушы заттар шығарындыларының көлемі бойынша, соның ішінде CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> және қатты бөлшектер бойынша өзекті статистикалық деректерді қорытуға негізделген. ҚР Экология министрлігінің (2024) мәліметтері бойынша, металлургия секторының көміртегі шығарындыларының жиынтық көлемі жылына 17-ден 20 млн тоннаға дейін соф-эквивалентті құрайды, бұл елдің жалпы өнеркәсіптік эмиссияларының 15%-на дейін сәйкес келеді. Бұл өндірістің жоғары көміртегі сыйымдылығын және саланың Қазақстанның климаттық күн тәртібіне елеулі әсерін көрсетеді.

Қазақстан Республикасы қара металлургиясының экологиялық тұрақтылық дәрежесін кешенді бағалау мақсатында шығарындыларды, қалдықтарды қайта өңдеуді, экологиялық жауапкершілік стандарттарын енгізу деңгейін және кәсіпорындардың көміртекті реттеу құралдарына қатысуын сипаттайтын сандық параметрлерді жалпылама жүйелеу жүргізілді (3-сурет).



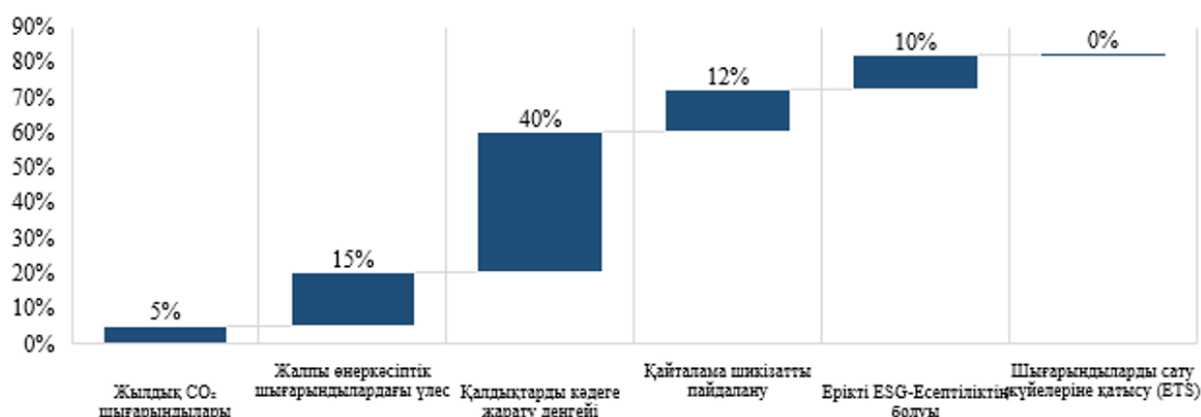
**3 сурет** – Қазақстанның металлургия секторының негізгі экологиялық көрсеткіштері

Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [18]



Ұсынылған деректер Қазақстанның металлургиялық секторының экологиялық осалдығының жоғары дәрежесін көрсетеді. Жылдық CO<sub>2</sub> шығарындылары 18,5 миллион тоннадан асады, бұл елдің барлық өнеркәсіптік шығарындыларының 15% құрайды. Бұл ретте қождарды кәдеге жарату деңгейі төмен деңгейде қалып отыр - 40%-дан кем, ал ISO 14001 бойынша сертификатталған кәсіпорындардың үлесі 20%-дан аспайды. Бұл көрсеткіштер тұрақты технологиялар мен институционалдық экологиялық тәжірибелердің әлсіз интеграциясын көрсетеді. Климаттық саясаттың өсіп келе жатқан қысымы жағдайында бұл динамика саланың стратегиялық бағдарларын жүйелі жаңғыртуды және қайта қарауды талап етеді.

Экологиялық жауапкершілік құралдарын енгізу деңгейі төмен болып қала береді. Ерікті ESG есептерін жеке кәсіпорындар дайындайды, ISO 14001 сертификаты металлургия өндірістерінің 20%-дан азын қамтиды және көміртекті сауда жүйелеріне қатысу жоқ. Мұндай институционалдық инерттілік трансшекаралық көміртекті реттеудің (атап айтқанда, cbam механизмінің) әлеуетті кеңеюіне, әсіресе ЕО елдеріне экспорттау кезінде саланың жоғары осалдығын қалыптастырады (4-сурет).



**4 сурет** – ҚР металлургия секторының негізгі экологиялық көрсеткіштері

Ескерту: дереккөз бойынша құрастырылған [18]

Бұл көрсеткіштер саланың құрылымдық экологиялық осалдығын көрсетеді. Атап айтқанда, саланың жалпы шығарындылардағы жоғары үлесі (15%) кезінде ESG есептілігі мен сертификаттаудың төмен деңгейі (20%-дан аз) жүйелік институционалдық олқылықтар туралы айтады.

Жоғарыда келтірілген көрсеткіштерді жүйелі талдау металлургия кешеніндегі экологиялық басқару тәсілдерін жедел трансформациялау қажеттілігін көрсетеді. Трансшекаралық экологиялық қысымды күшейту және тұрақтылық қағидаттарына бағдарланған халықаралық капитал нарықтарына қол жеткізу жағдайларын қатандату жағдайында металлургияның жұмыс істеуінің ағымдағы моделін сақтау стратегиялық тәуекелге айналады. Бейімделу тетіктерінің және экологиялық ашықтықтың болмауы саланың инвестициялық тартымдылығының төмендеуіне, реттеуші жүктеменің күшеюіне және металл прокатының экспорттық нарықтарындағы позициялардың жоғалуына әкелуі мүмкін.

Металлургия секторының трансформациясының реттеуші ортасын қалыптастыратын нормативтік-стратегиялық көзқарастарды талдау салаға ұзақ мерзімді әсер ететін халықаралық және Ұлттық бастамаларды қамтиды. Парниктік газдар шығарындыларын азайту және 2060 жылға қарай көміртегі бейтараптығына қол жеткізу



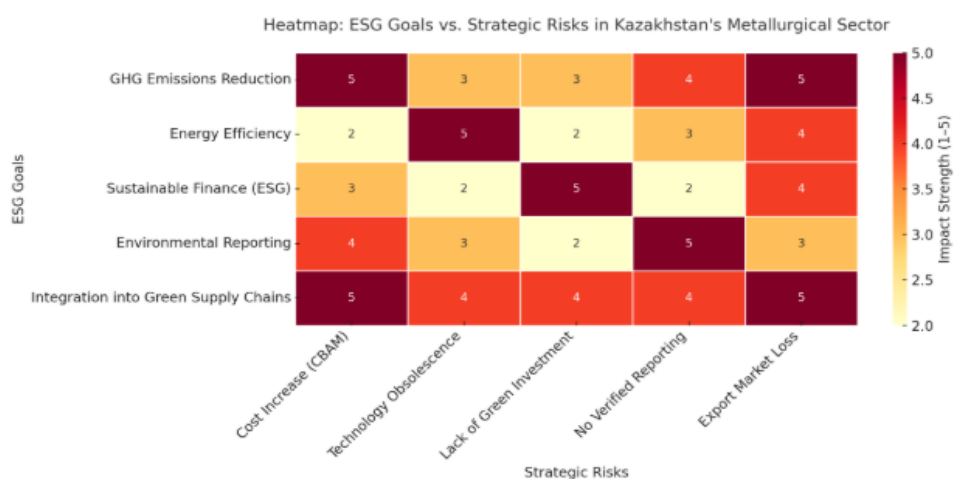
бойынша міндеттемелер алып, Қазақстан Қосылған Париж келісімі (2015) орталық маңызға ие. Бұл мақсаттар жоғары эмиссиялық салаларды, ең алдымен – қара металлургияны терең жаңғыртуды талап етеді.

Ұлттық бағдар төмен көміртекті технологияларды енгізуді және Экономикадағы ЖЭК үлесін арттыруды көздейтін «Жасыл экономикаға» (2023) көшудің жаңартылған стратегиясы болып табылады. Құжат ЖІӨ-нің энергия сыйымдылығын төмендету, тұрақты қаржыландыруды және компанияларды басқарудағы ESG тәсілдерін кеңейту мақсаттарын бекітеді. Маңызды сыртқы фактор - 2026 жылдан бастап енгізілген ЕО-ның cbam механизмі, ол жоғары көміртегі ізі бар өнімдерді экспорттауға фискалдық жүктемені қарастырады. Қазақстандық металлургияның еуропалық нарықтарға тәуелділігін ескере отырып бұл жүйелі сын қатерді қалыптастырады және тез бейімделуді талап етеді.

Институционалдық-нормативтік база жасыл инвестициялар мен инновацияларды қолдау шараларын қамтиды: экологиялық технологияларды енгізетін кәсіпорындар үшін салықтық жеңілдіктер; декарбонизация саласындағы ҒЗТКЖ-ға субсидиялар; жасыл облигацияларды орналастыруды қоса алғанда, ESG-қаржыландыру тетіктері. Алайда, бұл құралдарды енгізу бірқатар кедергілермен шектеледі. Олардың ішінде - жоғары ESG-комплаенсі бар жаһандық тізбектерге әлсіз интеграция, климаттық тәуекелдерді бағалау және өнімнің көміртегі ізін верификациялау ұлттық институттарының жеткіліксіз дамуы, сондай-ақ тұрақты өндірісті сертификаттаудың болмауы. Бұл қазақстандық металлургияның сыртқы нарықтардағы бәсекеге қабілеттілігін төмендетеді.

Осылайша, нормативтік-стратегиялық база үздік халықаралық тәжірибелерді және елдегі тұрақты даму институттарын дамытуды ескере отырып, одан әрі жетілдіруді талап етеді.

ESG-мақсаттары мен Қазақстанның металлургия секторының негізгі тәуекелдері арасындағы өзара байланысты бағалау үшін жылу картасы салынды. Ол 1-ден 5-ке дейінгі шкала бойынша саланың тұрақты дамуын іске асыруға стратегиялық қауіптердің (cbam, технологиялық артта қалу, Инвестициялар тапшылығы және т. б.) әсер ету күшін көрсетеді (5-сурет).



**5 сурет** - Қазақстанның металлургия саласындағы ESG-мақсаттары мен стратегиялық тәуекелдер арасындағы өзара байланыстардың жылу картасы

Ескерту: жылу картасы ESG мақсаттарын іске асыруға тәуекелдердің әсер ету дәрежесін сараптамалық бағалау негізінде Python бағдарламалық құралын (Seaborn және matplotlib кітапханалары) пайдалана отырып құрастырылған



Жылу картасын талдау ESG мақсаттары мен тәуекелдерінің ең маңызды қиылысу аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Ең үлкен жиынтық жүктемені CBAM енгізуге байланысты шығындардың өсуі, экспорттық нарықтардың жоғалуы, сондай-ақ верификацияланған климаттық есептіліктің болмауы сияқты тәуекелдер қалыптастырады. Парниктік газдар шығарындыларын азайту, жасыл жеткізу тізбегіне интеграциялау және ESG қаржыландыруды енгізу мақсаттары әсіресе осал болып табылады.

Ұяшықтардағы жоғары мәндер металлургияда ESG күн тәртібін іске асыру бұл қоңырауларды кешенді басқарусыз мүмкін невозможстігін көрсетеді. Атап айтқанда, трансшекаралық реттеуге бейімделу жабдықты жаңғыртуды ғана емес, сонымен қатар климаттық есептілік пен тұрақты қаржыландыру тетіктерін институционалдық нығайтуды талап етеді.

Климаттық күн тәртібінің жаһандық нарықтарға ықпалының артуы жағдайында Қазақстанның қара металлургиясы-өнеркәсіптік өндіріс пен экспорттың негізгі салаларының бірі ретінде-стратегиялық трансформация қажеттілігіне тап болады. Парниктік газдар шығарындыларын төмендету бойынша Республика қабылдаған халықаралық міндеттемелер және 2060 жылға қарай көміртегі бейтараптығы бағыты саланың даму бағыттарын ұзақ мерзімді модельдеу қажеттілігін негіздейді. Осы контекстегі сценарий тәсілі экологиялық, технологиялық және институционалдық факторларды ескере отырып, дамудың балама жолдарының салдарын бағалауға мүмкіндік беретін ғылыми талдаудың маңызды құралына айналады.

Осы зерттеу Қазақстанның қара металлургиясын дамытудың 2035 жылға дейінгі үш сценарийін ұсынады: инерциялық, орташа жасыл және климаттық бейімделгіш. Олардың әрқайсысы инвестициялық белсенділіктің әртүрлі деңгейлерін, технологиялық қайта құрулардың тереңдігін, мемлекеттік қолдау дәрежесін және климаттық механизмдердің интеграция дәрежесін көрсетеді. Сценарийлердің әдістемелік негізіне тұрақты өсу элементтері, декарбонизациялық әлеуетті бағалау және көміртегі есептілігі бойынша трансшекаралық талаптарды есепке алу кіреді.

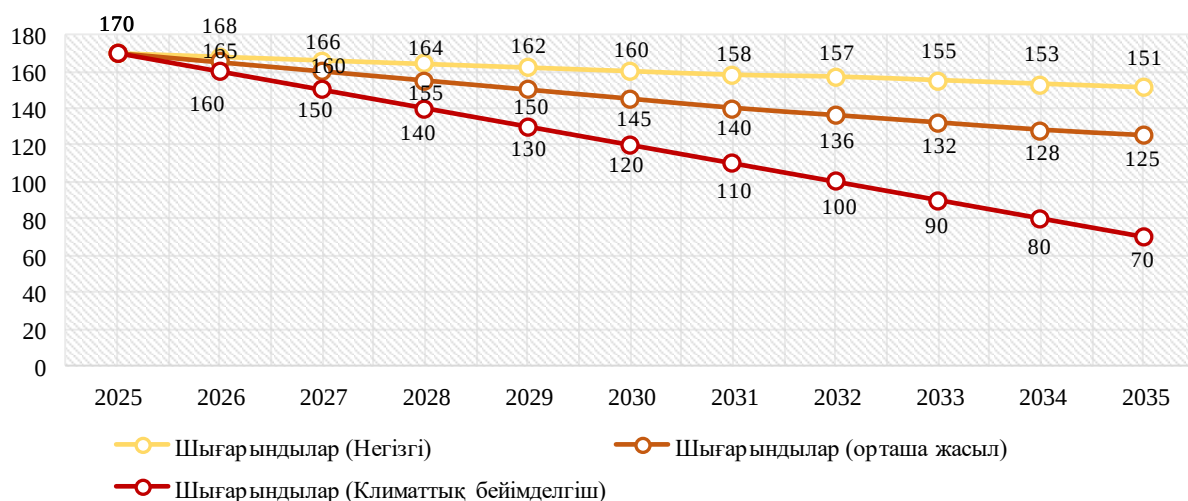
Шығарындылар динамикасы, экологиялық инвестициялардың көлемі, өндірістік құрылымның өзгеруі және институционалдық шаралар сияқты негізгі параметрлер ықтимал траекторияларды сандық бағалау үшін пайдаланылды. Алынған нәтижелер экологиялық міндеттемелер мен саланың экономикалық бәсекеге қабілеттілігі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ете отырып, климаттық және өнеркәсіптік саясат бойынша негізделген ұсыныстар жасауға негіз береді. Төменде әр сценарийдің ерекшелігін бейнелейтін және олардың тиімділігіне салыстырмалы талдау жасауға мүмкіндік беретін графикалық материалдар келтірілген (6, 7-сурет).

Қазақстан Республикасының 2035 жылға дейінгі қара металлургияны дамытудың ұсынылған сценарийлерін талдау саланы трансформациялау қарқынында, оның тұрақтылық деңгейінде және жаһандық климаттық сын-тегеуріндерге бейімделу қабілетінде айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетеді. Сценарийлердің әрқайсысы ішкі институционалдық мүмкіндіктерді де, сыртқы реттеуші шектеулерді де көрсететін экономикалық және экологиялық параметрлердің түйіскен жеріндегі балама траекторияны модельдейді.

Ағымдағы технологиялық және институционалдық тәсілдерді сақтауға негізделген инерциялық сценарий экологиялық жаңғыртудың шектеулі қарқынымен сипатталады. Өндірістік қуаттылық пен экспорттық бағдарлаудың салыстырмалы тұрақтылығына қарамастан, бұл парниктік газдар шығарындыларының өсуіне және трансшекаралық реттеудің күшеюі жағдайында (атап айтқанда, ЕО-дағы CBAM

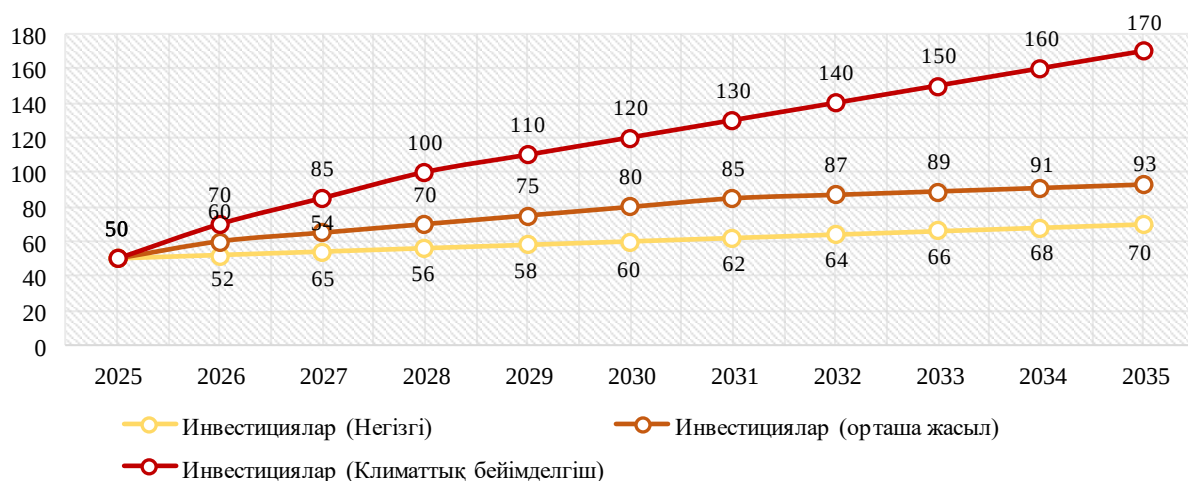


механизмі) саланың халықаралық бәсекеге қабілеттілігінің төмендеуіне әкеледі. Таза технологияларға жүйелі инвестициялардың болмауы экспортқа салықтық жүктеме мен технологиялық артта қалу қаупін арттырады.



**6 сурет** - Қазақстанның металлургия саласындағы ESG-мақсаттары мен стратегиялық тәуекелдер арасындағы өзара байланыстардың жылу картасы

Ескерту: авторлар есептеген



**7 сурет** – Жаңғыртуға инвестициялар, 2025-2035 жж

Ескерту: авторлар есептеген

Орташа жасыл сценарий энергияны үнемдейтін жабдыққа нүктелік инвестициялар, өндірістерді цифрландыру және жаңғырту арқылы Климаттық бастамаларды ішінара іске асыруды көздейді. Бұл траектория өнімнің көміртегі қарқындылығының шектеулі төмендеуін, сондай-ақ ESG принциптерін басқару тәжірибесіне ішінара біріктіруді қамтамасыз етеді. Алайда, терең институционалдық қайта құрусыз және халықаралық «жасыл» қаржыға қол жеткізусіз бұл күш-жігердің



әсері фрагментті және жаһандық декарбонизация жағдайында Қазақстанның тұрақты орналасуы үшін жеткіліксіз болып қала береді.

Климаттық бейімделу сценарийі трансформацияның ұзақ мерзімді пайдасына бағытталған ең теңдестірілген және прогрессивті модельді көрсетеді. Ол көміртекті ұстау және сақтау технологияларын (CCUS) қолдана отырып, өндірістік қуаттарды кешенді жаңғыртуды, ESG-мониторингтің автоматтандырылған жүйелерін енгізуді, «жасыл» жобалау саласындағы құзыреттерді дамытуды және фискалдық және институционалдық ынталандыру түрінде белсенді мемлекеттік қолдауды көздейді. Бұл сценарий шығарындылардың айтарлықтай төмендеуіне, «жасыл» жеткізу тізбегі шеңберінде экспорттық мүмкіндіктердің кеңеюіне және саланың реттеуші тәуекелдерге тұрақтылығын нығайтуға әкеледі.

Салыстырмалы талдау ағымдағы даму векторында (инерциялық сценарий) сала сыртқы нарықтардағы үлестің жоғалуына, реттеуші фрагментацияның күшеюіне және инвестициялық тапшылыққа тап болуы мүмкін екенін көрсетеді. Климаттық бейімделу моделі экологиялық жүктемені азайту үшін ғана емес, сонымен қатар технологиялық серпіліс үшін, сондай-ақ көміртекті бейтарап экономиканың талаптарына сәйкес келетін жаңа нарықтық тауашаларды қалыптастыру үшін мүмкіндіктер ашады.

Осылайша, стратегиялық басымдық өнеркәсіптік саясаттың, инновациялық белсенділіктің және климаттық жауапкершіліктің синергиясына негізделген климатқа бейімделген даму моделіне көшуге бағытталуы керек. Тек осы жағдайда ғана Қазақстанның қара металлургиясы ұлттық экономикадағы өзінің жүйелік ролін сақтап, жаһандық нарықтың жаңа архитектурасына бейімделе алады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеу Қазақстанның қара металлургиясын трансформациялаудың негізгі бағыттарын анықтап қана қоймай, жаһандық климаттық талаптардың күшеюі контекстінде саланы дамытудың әртүрлі сценарийлерінің салдарын бағалауға мүмкіндік берді. Нәтижелер тұрақтылыққа, инновацияға және климатқа бейімделуге бағытталған стратегиялардың пайдасына дәстүрлі өндірістік-экономикалық модельдерді қайта қарау қажеттілігін растайды.

Сценарийлерді талдау өндірістің ағымдағы құрылымын сақтай отырып, инерциялық жол трансшекаралық кедергілер аспектісінде де, инвестициялар мен өткізу нарықтары үшін жаһандық бәсекелестік шеңберінде де отандық металлургияның стратегиялық осалдығына әкелуі мүмкін екенін көрсетті. Жүйелік институционалдық өзгерістерсіз экологиялық модернизацияның қалыпты қарқыны көміртегі ізін декарбонизациялау мен азайтудың қажетті параметрлеріне қол жеткізуге мүмкіндік бермейді.

Осыған орай, ESG-қағидаттарын белсенді енгізуді, «жасыл» құзыреттерді дамытуды және тұрақты жеткізу тізбегін қалыптастыруды қоса алғанда, саланы терең технологиялық және басқарушылық қайта құруды көздейтін климаттық бейімделгіш сценарий үлкен әлеуетті көрсетеді. Бұл тәсіл қазіргі заманғы сын-тегеуріндерге ғана емес, сонымен қатар Төртінші өнеркәсіптік революция мен климаттық бейтарап күн тәртібі шеңберінде экономикалық өсудің жаңа сапасын қалыптастыруға мүмкіндіктер ашады.

Теориялық-әдіснамалық жоспарда жұмыс тұрақтылық факторларын ескере отырып, салалық трансформацияларды стратегиялық модельдеу бойынша ғылыми әзірлемелерді толықтырады, сондай-ақ белгісіздік пен жаһандық климаттық қайта құру жағдайында даму сценарийлерін бағалау құралдарын кеңейтуге ықпал етеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы ұзақ мерзімді перспективада бәсекеге қабілетті және



экологиялық бағдарланған металлургия саласын қалыптастыруға ықпал ететін өнеркәсіптік және экологиялық саясат бағыттарын негіздеу болып табылады.

Саланы төмен көміртекті бағытқа көшіру бойынша ұсыныстар:

1) Салалық компанияларға: энергия тиімді жабдықтарды енгізу, ескірген пештерді жаңарту, электр доғалы пештер (EAF), DRI және сутегі технологияларын қолдану; ESG-есептілікті енгізу; тұрақты жеткізу тізбегін дамыту; ғылыми-зерттеу және инновациялық жобаларды қаржыландыру.

2) Мемлекеттік органдарға: парниктік газдар шығарындыларын төмендетуге арналған стандарттар мен квоталарды енгізу; «жасыл» инвестицияларды субсидиялау; кадрларды даярлау және тұрақты өндірісті сертификаттау жүйесін дамыту; стратегиялық сценарийлік модельдеу арқылы ұзақ мерзімді жоспарлау жүргізу; CBAM және трансшекаралық талаптарға бейімделуді қамтамасыз ету.

Осы кешенді шараларды іске асыру арқылы Қазақстанның кара металлургиясы климаттық тұрақтылыққа, экономикалық бәсекеге қабілеттілікке және жаһандық нарықтың жаңа талаптарына сәйкес келетін төмен көміртекті даму траекториясына түсе алады. Тек осындай жүйелі тәсіл арқылы сала ұлттық экономикадағы өз маңызын сақтап, индустриялық өсудің негізгі драйвері және ұлттық экономикалық қауіпсіздіктің кепілі ретінде қызмет ете алады.

## Әдебиет тізімі

1. Birat J.-P. Towards zero carbon steel // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2020. – Vol. 6. - No. 3. – P. 423–435.
2. Hasanbeigi A., Springer C. How to decarbonize the global steel sector. *Global Efficiency Intelligence*. – 2019. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://www.globalefficiencyintel.com/reports> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).
3. Van Ruijven B.J., Riahi K., Bosetti V., et al. Energy system transformation for net-zero emissions: The role of hydrogen // *Energy Policy*. – 2021. – Vol. 149. – e.12014.
4. Zheng Y., Liu Y., Wang C., et al. Pathways to carbon neutrality for steel industry: Scenarios and emissions modeling // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 377. – e.134296.
5. Bruninx K., Delarue E., Ovaere M. Implications of EU ETS and CBAM on the European steel sector // *Energy Economics*. – 2021. – Vol. 102. – e.105505.
6. Sartor O., Bataille C. Decarbonizing basic materials in Europe: Policy options // *Climate Policy*. – 2022. – Vol. 22. - No. 1. – P. 26–44.
7. Mandova H., Patrizio P., Leduc S., et al. Industrial decarbonization and regional energy systems: An integrated scenario analysis // *Applied Energy*. – 2021. – Vol. 289. – e.116640.
8. Zhang X., Wang Y., Li W., et al. Modeling China's steel industry under carbon neutrality targets // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2020. – Vol. 161. – e.104891.
9. Gielen D., Saygin D., Wagner N., et al. Hydrogen economy prospects in transition economies: The case of CIS countries // *Energy Strategy Reviews*. – 2023. – Vol. 45. – e.101026.
10. Тлеубаев А.К., Мырзағалиева А.Е., Сейдахметов С.К. Модернизация металлургической отрасли РК: вызовы и возможности // *Вестник экономики и управления*. – 2022. – № 3. – С. 51–63.
11. Ауельбекова С.Н. Финансирование устойчивой металлургии: казахстанский контекст // *Журнал экономических реформ*. – 2023. – № 2. – С. 78–89.
12. Институт экономических исследований при МНЭ РК. Оценка устойчивости металлургической отрасли Казахстана в условиях энергетического перехода. – Астана, 2021. – 64 с.
13. International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steel Production. – Paris: OECD/IEA, 2023. – 154 p.
14. Climate Strategies. Climate competitiveness and the steel sector: Managing carbon leakage. – London, 2022. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://climatestrategies.org> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).
15. 2023 жылғы деректер-бағалау. ҚР СЖРА Ұлттық статистика бюросының және ҚазҚСҒЗИ материалдары. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://stat.gov.kz> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).



16. Eurofer. European Steel in Figures 2023. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://www.eurofer.eu/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2023> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).

17. OECD. Work in support of industrial decarbonisation, 2023. – [Электронды ресурс]. – Available at: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/oecd-work-in-support-of-industrial-decarbonisation\\_00ea119a/cd589e4f-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/oecd-work-in-support-of-industrial-decarbonisation_00ea119a/cd589e4f-en.pdf) өтініш берілген күн: 20.07.2025).

18. World Steel Association. World Steel in Figures 2023. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2023/> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).

19. GIZ. Decarbonization of the Metallurgical Sector of Kazakhstan [White Paper]. – 2024. – [Электронды ресурс]. – Available at: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2024-en-white-paper-on-decarbonization-of-the-metallurgical-sector-of-kazakhstan.pdf> (өтініш берілген күн: 20.07.2025).

## References

1. Birat J.-P. Towards zero carbon steel. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2020, 6(3), pp. 423–435.
2. Hasanbeigi A., Springer C. How to decarbonize the global steel sector. *Global Efficiency Intelligence*, 2019. Available at: <https://www.globalefficiencyintel.com/reports> (date of access: 20.07.2025).
3. Van Ruijven B.J., Riahi K., Bosetti V., et al. Energy system transformation for net-zero emissions: The role of hydrogen. *Energy Policy*, 2021, 149, e.112014.
4. Zheng Y., Liu Y., Wang C., et al. Pathways to carbon neutrality for steel industry: Scenarios and emissions modeling. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 377, e.134296.
5. Bruninx K., Delarue E., Ovaere M. Implications of EU ETS and CBAM on the European steel sector. *Energy Economics*, 2021, 102, e.105505.
6. Sartor O., Bataille C. Decarbonizing basic materials in Europe: Policy options. *Climate Policy*, 2022, 22(1), pp. 26–44.
7. Mandova H., Patrizio P., Leduc S., et al. Industrial decarbonization and regional energy systems: An integrated scenario analysis // *Applied Energy*, 2021, 289, e.116640.
8. Zhang X., Wang Y., Li W., et al. Modeling China's steel industry under carbon neutrality targets. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 161, e.104891.
9. Gielen D., Saygin D., Wagner N., et al. Hydrogen economy prospects in transition economies: The case of CIS countries. *Energy Strategy Reviews*, 2023, 45, e.101026.
10. Tleubaev A.K., Myrzagalieva A.E., Sejdahmetov S.K. Modernizacija metallurgicheskoy otrasli RK: vyzovy i vozmozhnosti [Modernization of the metallurgical industry of the Republic of Kazakhstan: challenges and opportunities]. *Vestnik jekonomiki i upravleniya*, 2022, 3, ss. 51–63 (In Russian).
11. Auel'bekova S.N. Finansirovanie ustojchivoj metallurgii: kazahstanskij kontekst [Financing sustainable metallurgy: the Kazakh context]. *Zhurnal jekonomicheskikh reform*, 2023, 2, ss. 78–89 (In Russian).
12. Institut jekonomicheskikh issledovanij pri MNJe RK. Ocenka ustojchivosti metallurgicheskoy otrasli Kazahstana v uslovijah jenergeticheskogo perehoda [Assessment of the sustainability of Kazakhstan's metallurgical industry in the context of the energy transition], Astana, 2021, 64 s. (In Russian).
13. International Energy Agency. *Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steel Production*. Paris: OECD/IEA, 2023, 154 p.
14. Climate Strategies. *Climate competitiveness and the steel sector: Managing carbon leakage*, London, 2022. Available at: <https://climatestrategies.org> (date of access: 20.07.2025).
15. 2023 zhylry derekter-baralau. QR SZHRA Ylttyk statistika byurosynyn zhəne QazKSFZI materialdary. Available at: <https://stat.gov.kz> (date of access: 20.07.2025).
16. Eurofer. *European steel in figures 2023*. Available at: <https://www.eurofer.eu/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2023> (date of access: 20.07.2025).
17. OECD i KazNIIpr. *Work in support of industrial decarbonisation*. 2023. Available at: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/oecd-work-in-support-of-industrial-decarbonisation\\_00ea119a/cd589e4f-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/oecd-work-in-support-of-industrial-decarbonisation_00ea119a/cd589e4f-en.pdf) (date of access: 20.07.2025).
18. World Steel Association. *World Steel in Figures 2023*. Available at: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2023/> (date of access: 20.07.2025).
19. GIZ White Paper. *Decarbonization of the Metallurgical Sector of Kazakhstan*. 2024. Available at: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2024-en-white-paper-on-decarbonization-of-the-metallurgical-sector-of-kazakhstan.pdf> (date of access: 20.07.2025).



## MODELING SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FERROUS METALLURGY INDUSTRY UNTIL 2035, TAKING INTO ACCOUNT GLOBAL CLIMATE INITIATIVES

*T.S. Tazhibayev<sup>1</sup>, A.M. Yessirkepova<sup>1\*</sup>, I.S. Polezhaeva<sup>1</sup>, M.T. Kalmenova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>Zhetysay University named after I. Zhansugurov, Taldykorgan, Kazakhstan

**Summary.** Ferrous metallurgy remains one of the most environmentally vulnerable industrial sectors in the context of the climatic transformation of the global economy. The tightening of international standards requires a revision of traditional development models, taking into account climate initiatives and cross-border regulation. In the Republic of Kazakhstan, where metallurgy plays a key role in exports and industry, this poses serious institutional and technological challenges. The high carbon intensity of products aimed at the EU market increases the risks of declining competitiveness. In this regard, the transition to low-carbon technologies, the introduction of MRV systems, as well as the implementation of energy efficiency programs as the basis for adaptation to new conditions is of particular relevance.

**Keywords:** ferrous metallurgy, carbon intensity, CO<sub>2</sub> emissions, low carbon economy, cross-border carbon regulation (CBAM), climate agenda; energy intensity, environmental risks, regulatory mechanisms.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДО 2035 ГОДА С УЧЁТОМ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНИЦИАТИВ

*Т. С. Тажибайев<sup>1</sup>, А. М. Есиркепова<sup>1\*</sup>, И. С. Полежаева<sup>1</sup>, М. Т. Кальменова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. О. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>Жетысуский университет им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан

**Резюме.** Чёрная металлургия в условиях климатической трансформации глобальной экономики остаётся одним из наиболее экологически уязвимых промышленных секторов. Ужесточение международных стандартов требует пересмотра традиционных моделей развития, с учётом климатических инициатив и трансграничного регулирования. В Республике Казахстан, где металлургия играет ключевую роль в экспорте и промышленности, это формирует серьёзные институциональные и технологические вызовы. Высокая углеродоёмкость продукции, ориентированной на рынок ЕС, усиливает риски снижения конкурентоспособности. В связи с этим особую актуальность приобретает переход к низкоуглеродным технологиям, внедрение систем MRV, а также реализация программ энергоэффективности как основ адаптации к новым условиям.

**Ключевые слова:** чёрная металлургия, углеродоёмкость, выбросы CO<sub>2</sub>, низкоуглеродная экономика, трансграничное углеродное регулирование (CBAM), климатическая повестка, энергоёмкость, экологические риски, регуляторные механизмы.

### **Авторлар туралы ақпарат:**

**Тажибаев Толеген Сапарбаевич** – М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің докторанты, Экономика бағыты, Шымкент, Қазақстан, e-mail: danko\_re@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2955-7952>

**Есиркепова Алтын Махмудовна\*** - экономика ғылымдарының докторы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Экономика» кафедрасының меңгерушісі, профессор, Шымкент, Қазақстан, e-mail: essirkepova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5028-238X>

**Полежаева Инна Сергеевна** - экономика ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің Экономика кафедрасының доценті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: inna-shim@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3049-5106>

**Кальменова Маржан Тынысбековна** - экономика ғылымдарының кандидаты, И. Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан, e-mail: kalmenovamarzhan78@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-3360-4308>

**Информация об авторах:**

**Тажибаяев Толеген Сапарбаевич** – докторант Южно-Казахстанского университета, направление Экономика, Шымкент, Казахстан, e-mail: danko\_re@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2955-7952>

**Есиркепова Алтын Махмудовна\*** - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедры «Экономика» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: essirkepova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5028-238X>

**Полежаева Инна Сергеевна** - кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: inna-shim@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3049-5106>

**Кальменова Маржан Тынысбековна** - кандидат экономических наук, Жетысуский университет им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан, e-mail: kalmenovamarzhan78@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-3360-4308>

**Information about the authors:**

**Tazhibayev Tolegen Saparbayevich** – Doctoral student of M. Auezov South Kazakhstan University, Economics, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: danko\_re@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2955-7952>

**Yessirkepova Altyn Makhmudovna\*** - Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: essirkepova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5028-238X>

**Polezhaeva Inna Sergeevna** - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: inna-shim@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3049-5106>

**Kalmenova Marzhan Tynysbekovna** - Candidate of Economic Sciences, Zhetysu I. Zhansugurov University, Taldykorgan, Kazakhstan, e-mail: kalmenovamarzhan78@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-3360-4308>

Алынды: 18.07.2025

Қарауға қабылданды: 14.09.2025

Онлайн қолжетімді: 10.11.2025