

Павлов И. М., техника ғылымдарының докторы, профессор, **негізгі автор**, <https://orcid.org/0000-0003-0907-0489>

«Ю.А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті» ЖБ ФМБББК, 410054, Саратов қ. Политехническая көш., 77, 410054, Ресей, pim60@mail.ru

Сарсенов А. Е., PhD, доцент м.а., <https://orcid.org/0000-0002-0265-0141>

«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал қ. Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан Республикасы, sarsenov_1966@mail.ru

Утепов Г. Н., техникалық ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, <https://orcid.org/0000-0002-4144-8253>

«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал қ. Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан Республикасы, mr.galim.61@mail.ru

Асмәмбет А. Ж., МБЖПФ-22 тобының магистранты, <https://orcid.org/0009-0005-8092-6333>

«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Орал қ. Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан Республикасы, artur.asmambetov@mail.ru

Pavlov I. M., doctor of technical sciences, professor, **the main author**, <https://orcid.org/0000-0003-0907-0489>

«Saratov State Technical University named after Gagarin Yu. A.» Saratov, st. Polytechnic. 77, 410054, Russia, pim60@mail.ru,

Sarsenov A. E., PhD, associate professor <https://orcid.org/0000-0002-0265-0141> NAO «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan» Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, sarsenov_1966@mail.ru

Uteпов G.N., Master of Technical Sciences, Senior Lecturer <https://orcid.org/0000-0002-4144-8253>

NAO «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan», Uralsk, st. Zhangir Khan 51, 090009, Kazakhstan, mr.galim.61@mail.ru

Asmambet A. Zh., master's student, of the МААКНГ-11 group <https://orcid.org/0009-0005-8092-6333>

NAO «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan», Uralsk, st. Zhangir Khan 51, 090009, Kazakhstan, artur.asmambetov@mail.ru

МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНЕРКӘСІБІ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ТАЗАРТУ ҮШІН ЭЛЕКТР СҮЗГІЛЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC FILTERS FOR CLEANING EMISSIONS FROM METALLURGICAL ENTERPRISES

Аннотация

Бұл мақалада металлургия өнеркәсібі кәсіпорындарындағы экологиялық қауіпсіздік мәселелері қарастырылады, сонымен қатар осы кәсіпорындардың өндірістік қызметінің табиғи ортаға теріс әсері талданады. Қоршаған ортаны қорғау жөніндегі іс-шаралардың бірі және экологиялық қауіпсіздік дәрежесін арттыруға бағытталған тәсіл электр сүзгілеріндегі өнеркәсіптік шығарындыларын тазарту болып табылады.

Электр сүзгілердің жұмыс принципі егжей-тегжейлі сипатталған және электр сүзгілердің әртүрлі түрлері мен олардың тұндырғыш және тәжді электродтары қарастырылған. Электродтар арасында газдардың иондану процесі жүретін жағдайлар келтірілген, сонымен қатар сериялық электрсүзгілердің артықшылықтары мен оларды пайдалану процесінде айқындалған кемшіліктер белгіленген.

Сонымен қатар мақалада олардың тиімділігін арттыру мақсатында электр сүзгілерді жетілдіру бойынша жүргізілетін жұмыстар тек келесі бағыттар бойынша жүргізілетіні атап өтілді: электродтардың биіктігін (ұзындығын) ұлғайту арқылы тұндыру алаңын арттыру, жұқа сымдар түріндегі тәждік электродтарды ине сымдарына ауыстыру, өзіндік құнын арттыратын қоректендіру агрегаттарын жаңғырту. Электр сүзгілерінің тиімділігін арттыруға жету үшін электр өрісінің орташа кернеулігі мен тәж разрядының ток тығыздығын өсіру арқылы мүмкін болады. Шаң-газ тазалауды қарқындатудың осы бағытын іске асыру тиімділікті едәуір арттыруға және

металлургия өнеркәсібі кәсіпорындарында шығарындыларды тазалаудың өзіндік құнын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

ANNOTATION

This article examines the problems of environmental safety at enterprises of the metallurgical industry, as well as analyzes the negative effects of the production activities of these enterprises on the natural environment. One of the environmental protection measures and a method aimed at increasing the degree of environmental safety is the purification of industrial gases in electric filters.

The principle of operation of the electrofilter is described in detail and various types of electrofilters, precipitation and corona electrodes are considered. The cases in which the gas ionization process occurs between the electrodes are presented, and the advantages of serial electrofilters and the identified disadvantages in the process of their operation are noted.

At the same time, the article notes that the work carried out to improve electrofilters in order to increase their efficiency is carried out only in the following directions: increasing the deposition area by increasing the height (length) of the electrodes, replacing corona electrodes in the form of thin wires with needle ones, upgrading power units, which increases their cost. It is possible to achieve an increase in the efficiency of electrofilters by increasing the average electric field strength and current density of the corona discharge. The implementation of this direction of intensification of dust and gas purification will significantly increase efficiency and significantly reduce the cost of cleaning emissions at enterprises of the metallurgical industry.

***Түйін сөздер:** экологиялық қауіпсіздік, электр сүзгісі, электр өрісінің кернеулігі, тәж разрядының ток тығыздығы, бөлшектердің тұнбасы.*

***Key words:** environmental safety, electric filter, electric field strength, corona discharge current density, particle deposition.*

Кіріспе. Metallургия өнеркәсібі елдің табысты экономикалық дамуында бірінші орынның бірін алады. Өнеркәсіптің бірқатар салалары осы саламен байланысты, мысалы: құрылыс, электр энергетикасы, машина жасау, теміржол көлігі және т.б. Metallургия өнеркәсібі ел экономикасының маңызды сегменттерінің бірі болып табылады. Ол миллиондаған адамдарды жұмыспен қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, дайын өнімдер тікелей құрылыс қажеттілігіне және соның салдарынан адамның өмірі мен дамуы үшін қажет болып табылады.

Екінші жағынан, өндірістің өсу қарқыны мен экономикалық дамудың артында жағымсыз салдар жатыр. Өйткені, металлургия қоршаған ортаны ластау саласында көшбасшы болып табылады: қалдықтарды жаппай сақтау арқылы топырақтың ластануы; өңделмеген өндірістік суларды табиғи су қоймаларына төгу; атмосфераға зиянды заттардың орасан зор шығарындылары [1-5].

Сондықтан металлургия өнеркәсібінде экологиялық қауіпсіздікті сақтау және дамыту маңызды ғылыми-практикалық міндеттердің бірі болып қала береді. Metallургиялық қызметінің қалдықтар мен шығарындыларының экологиялық қауіптілігі металлургия түріне тікелей байланысты. Ірі металлургиялық кәсіпорындардың атмосферасы мен су ортасындағы зиянды заттардың концентрациясы рұқсат етілген нормалардан асып түседі. Бұл бірнеше себептерге байланысты:

- өнеркәсіптік кәсіпорындардың тұрғын аудандарға жақын орналасуы;
- ескірген технологиялық процестер мен технологиялық жабдықтарды пайдалану, яғни олардың жұмыс жасау кезінде атмосфераға ластаушы заттардың меншікті мөлшері көбірек бөлінеді;
- технологиялық агрегаттардың тазарту және залалсыздандыру жүйелерімен жеткіліксіз жарақтандырылуы және жұмыс істеп тұрған шаң және газ тазарту қондырғыларының тиімсіз жұмыс жасауы;
- кәсіпорындарында орталықтандырылмаған газды бұру және тазарту жүйелерінің едәуір саны және тиісінше салыстырмалы түрде биіктігі төмен құбырлармен атмосфераны ластаудың шағын көздерінің көп саны;
- табиғатты қорғау заңнамасына («СанПиН», ҚНЖЕ, МемСТ және т.б.) және жұмыстың техникалық құрамдас бөлігіне сәйкес келмеуі [2,7,8].

1-суретте металлургияның қоршаған ортаға теріс әсер ететін негізгі түрлері мен олардың компоненттері көрсетілген.

Металлургия өнеркәсібінің заманауи кәсіпорындары атмосфераға зиянды шығарындылардың негізгі көздерінің бірі болып табылады. Мысалы, қара металлургия кәсіпорындарының үлесіне зиянды заттардың жалпы шығарындылары шамамен 22%, ал ірі металлургия зауыттары орналасқан аудандарда 50% астам құрайды [1,2].



Сурет 1 – Металлургия түрлері және оның қоршаған ортаға экологиялық қауіпті және зиянды қалдықтары

Қара және түсті металлургия табиғи ортаны ластайтын салаларға жатады. Металлургия зиянды заттардың жалпы шығарындыларының шамамен 40% құрайды, оның ішінде газ тәрізді заттар бойынша шамамен 34%, ал қатты заттар бойынша шамамен 26%.

Орташа алғанда, қара металлургия зауытының жылдық өнімділігі 1 млн. тонна болғанда шаңды шығару тәулігіне 350 т, күкіртті ангидритті шығару тәулігіне 200 т, көміртегі оксиді шығару тәулігіне 400 т, азот оксидін шығару тәулігіне 42 т құрайды. 1 тонна шойынды қайта өндегенде шаңның шығуы 4,5 кг, күкірт газының шығуы 2,7 кг және марганецтің шығуы 0,6-0,1 кг құрайды. Қортпеш газымен бірге атмосфераға аз мөлшерде мышьяк, фосфор, сурьме, қорғасын, сынап және сирек металдар булары, цианидті сутегі және шайырлы заттар шығарылады [2,6,7].

Сонымен қатар агломерациялық фабрикалар ауаның күкіртті газбен ластануының маңызды көзі болып табылады. Кенді агломерациялау кезінде пириттерден күкірт күйіп шығады. Сульфидті кендерде 10% дейін күкірт болады, ал агломерациядан кейін 0,2-0,7% күкірт қалады. Агломерация кезінде күкіртті газдың шығарылуы 190 кг/т кен мөлшерін құрайды [8-11].

Қара металлургиядағы атмосфераға шығарындылардың негізгі көздері: агломерациялық өндірісінде - агломерациялық машиналар, жиектерді (окатыш) күйдіруге арналған машиналар: ұсақтау-ұнтақтау жабдықтары, материалдарды түсіру, тиеу және қайта себу орындары, шойын мен болат өндірісінде – қортпеш (домна), мартен және болатты балқыту пештері, болатты үздіксіз құю қондырғылары, ерітінділермен өңдеу бөлімдері, шойын құю цехтарының ваграндық пештері [8.10-13].

Ауаның шаңмен ластануы көмірді кокстеу кезінде шихтаны дайындаумен және оны кокс пештеріне тиеумен, коксты сөндіру вагондарына түсірумен мен коксты дымқыл сөндірумен байланысты. Сонымен қатар дымқыл сөндіруде пайдаланылатын судың құрамына кіретін заттардың атмосфераға шығарылуымен бірге жүреді.

Қазіргі уақытта қара және түсті металлургия салаларының, сондай-ақ басқа да өнеркәсіптік салалардың алдында тұрған маңызды мәселелердің бірі атмосфераны ластайтын зиянды заттардың мөлшерін азайту болып табылады. Бұл өзекті бола түсуде, өйткені экологиялық заңнаманы қатаңдату зиянды заттардың шығарындылары үшін салықтар түрінде қомақты қаражат төлеу

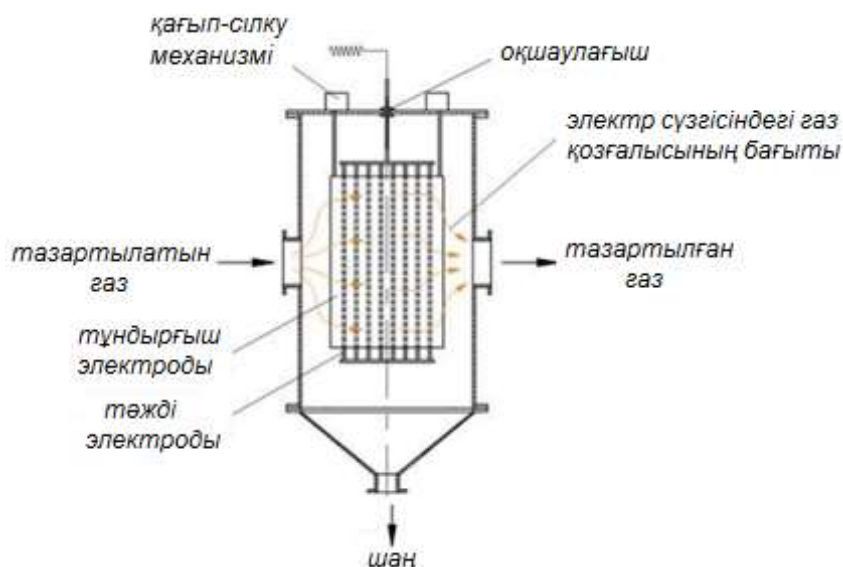
қажеттілігіне әкеледі. Бұл ретте нормативтен тыс шығарындылар үшін төлем шекті жол берілетін шығарындыларға қатысты бес есе мөлшерде белгіленеді [2,6]. Мұның бәрі кәсіпорындарды шаң мен газды тазартудың тиімді технологияларын енгізуге ынталандыруы тиіс.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Өнеркәсіптік газдардан тұман мен шаң бөлшектерін бөлудің заманауи және жетілдірілген тәсілдерінің бірі, оларды электр сүзгілерінде тазарту болады.

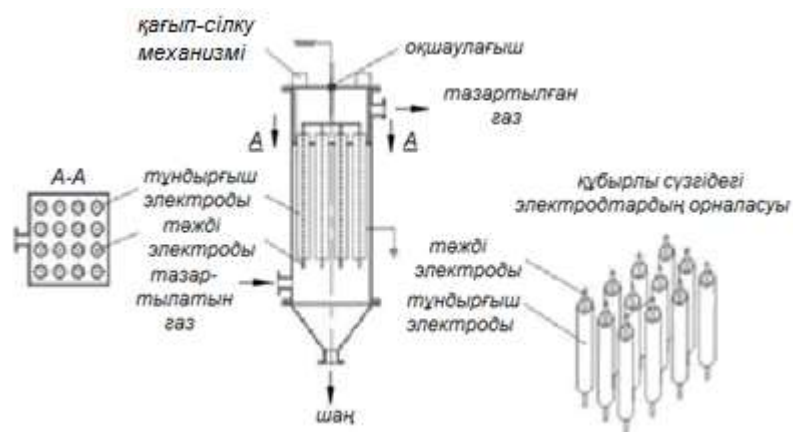
Электр сүзгі - бұл газдарды электр күштерінің әсерінен болатын аэрозольден, қатты заттардан немесе сұйық бөлшектерден тазартатын қондырғы. Электр сүзгіде электр өрісінің әсерінен зарядталған бөлшектер тазартылатын газ ағынынан шығарылады және электродтарға тұнбаға түседі(тұнбаланады). Бөлшектерді зарядтау тәждік разряд өрісінде жүреді. Электр сүзгі бұл конструкциясы әр түрлі тұндырғыш және тәждік электродтар орнатылған тура сызықты, немесе цилиндрлік корпусты (электр сүзгінің атқаратын қызметі мен қолдану аймағына, сондай-ақ ұсталатын бөлшектердің ерекшелігіне байланысты) болады.

Тәждік электродтары кернеуі 50-60 кВ болатын түзетілген токпен жоғары вольтты қуат көзіне қосылған. Ұсталатын қатты заттарды электродтардан қағып - сілкіу арқылы алып тасталатын электрсүзгілерді *құрғақ* деп атайды, ал тұндырылған бөлшектер электродтардан сұйықтықпен жуылатын немесе сұйық бөлшектер (тұман, шашырау) *дымқыл* деп аталады [8,12 - 14].

Тазартылған газ тізбектей өтетін электр өрістерінің санына сәйкес электр сүзгілерді *бір жолды* және *көп жолдыға* бөледі. Кейде электр сүзгілерді газдың жүруіне қарай параллельды камераларға бөледі, яғни секцияларға. Осы белгі бойынша олар *бір* және *көп* секциялы болуы мүмкін. Электр сүзгіде тазартылған газ белсенді аймақты тік немесе көлденең бағытта өтеді, сондықтан электрсүзгілерді *тік* немесе *көлденеңге* ажыратады. Тұндырғыш электродтардың түріне қарай электр сүзгілері *пластиналық* және *түтікті* болады. Электр сүзгілердің негізгі конструкторлық түрлері — *көлденең пластиналық* (сурет 2) және *тік түтікті* (сурет 3) көрсетілген.



Сурет 2 – Көлденең пластиналы электр сүзгісі



Сурет 3 – Түтікті электр сүзгісі

Электр сүзгісінің жұмыс принципін түсіну үшін алдымен электр тізбегін қарастыру керек. Ол тоқ көзі сияқты және бір-біріне параллель орналасқан екі металды пластиналардан тұрады. Пластиналар бір-бірінен ауамен бөлінген. Бұл қондырғы ауа конденсаторына ұқсайды, бірақта мұндай тізбектен электр тогы өтпейді, өйткені пластиналар арасындағы ауа қабаты, басқа газдар сияқты, электр тогын өткізе алмайды [12-14].

Дегенмен, металл пластиналарға қажетті потенциалдар айырмашылығын қолданған кезде, осы тізбекке қосылған гальванометр пластиналар арасындағы ауа қабатының иондануына байланысты электр тогының өтуін бекітеді. Екі электрод арасындағы газдың иондалуына келетін болсақ, ол екі жағдайда пайда болуы мүмкін:

1. Өздігінен емес, яғни кез-келген «ионизаторларды» қолдана отырып, мысалы, рентген немесе басқа сәулелерді. Осы «ионизатордың» әсері аяқталғаннан кейін рекомбинация біртіндеп басталады, яғни кері процесс жүреді: әр түрлі белгілердің иондары қайтадан қосылып, сол арқылы электронейтралды газ молекулаларын түзеді.

2. Өздігінен, электр желісіндегі кернеуді пайдаланылатын газдың диэлектрик тұрақтысынан асатын шамаға дейін арттыру есебінен жүзеге асырылады.

Газдарды электрлік тазарту кезінде тек екінші иондану қолданылады, яғни өздігінен. Егер металды пластиналар арасындағы потенциалдар айырмашылығын арттыра бастағанда, онда ол белгілі бір уақытта сыни нүктеге жетеді (ауа қабатын тесіп өтетін кернеу), ауа «тесіліп», тізбекте тоқ күші күрт артады, ал металды пластиналар арасында ұшқын пайда болады, бұл өзіндік газ разряды деп аталады.

Кернеу бар кезінде ауа молекулалары оң және теріс зарядталған иондарға және электрондарға ыдырай бастайды. Электр өрісінің әсерінен иондар қарама-қарсы зарядталған электродтарға қарай жылжиды. Электр өрісінің кернеуінің жоғарылауымен иондардың жылдамдығы, сәйкесінше электрондардың кинетикалық энергиясы біртіндеп өсе бастайды.

Олардың жылдамдығы сыни шамаға жеткенде және одан біршама асып кеткенде, олар жолда кездесетін барлық бейтарап молекулаларды ыдыратады. Осылайша екі электрод арасындағы барлық газдың иондалуы жүреді. Параллель орналасқан пластиналар арасында иондардың едәуір саны бір уақытта пайда болған кезде, электр тогының күші едәуір арта бастайды және ұшқын разряды пайда болады.

Ауа молекулалары белгілі бір бағытта қозғалатын иондардан, импульстарды алатындықтан, «соққы» иондануымен қатар ауа массасының жеткілікті қарқынды қозғалысы да пайда болады.

Газдарды электрмен тазарту тәсіліндегі өздігінен иондау электродтарға жоғары кернеуді беру арқылы жүзеге асырылады. Осы тәсілмен газ қабатын иондау кезде екі электрод арасындағы қашықтықтың белгілі бір бөлігінде ғана тесілуі керек. Газдың бір бөлігі тесілмеген болу керек және параллель электродтарды қысқа тұйықталудан, ұшқын немесе доғаның пайда болуынан (диэлектриктің тесілуін болдырмайтын) сақтайтын оқшаулаушы ретінде қызмет етуі керек [11,14-17].

Осындай «оқшаулауды» электродтардың пішінін, сондай-ақ олардың арасындағы қашықтықты кернеуге сәйкес тандау арқылы жасайды. Айта кету керек, екі параллель жазықтық түрінде ұсынылған электродтар бұл жағдайда жұмыс істемейді, өйткені олардың арасында өрістің кез-келген нүктесінде әрдайым бірдей кернеу болады, яғни өріс үнемі біртекті болады. Бір жазық электрод пен екіншісінің арасындағы потенциалдар айырмасы тесіп шығу кернеуінің шамасына

жеткенде, барлық ауа тесіліп, ұшқын разряды пайда болады, бірақ бүкіл өріс біртекті болғандықтан ауаның иондануы болмайды.

Біртекті емес өріс концентрлі цилиндрлер (түтік пен сымдар) немесе жазықтық пен цилиндр (пластина мен сымдар) тәрізді электродтар арасында ғана пайда болуы мүмкін. Тікелей сымның жанында өріс кернеуі соншалықты үлкен болғандықтан, иондар мен электрондар бейтарап молекулаларды иондауға қабілетті болады, бірақ сымнан алыстаған сайын өріс кернеуі мен иондардың қозғалыс жылдамдығы соншалықты төмендейді, сондықтан соққылы иондануы нақты болмайды.

Екі цилиндрлік электродтар арасында ұшқын пайда болмау үшін түтік радиусы R мен сымның радиусы r арасындағы байланыс міндетті түрде белгілі болу керек. Жүргізілген есептеулердің нәтижелері қысқа тұйықталусыз газдың иондануы $R/r \geq 2,72$ ден үлкен немесе оған тең болуы мүмкін екенін көрсетті [14].

Сымның айналасында әлсіз жарқылдың немесе «тәждің» пайда болуы иондық разрядтың пайда болуының негізгі көрінетін белгісі болып табылады. Бұл құбылыс *тәжді разряды* деп аталады. Әлсіз жарқыл үнемі тән дыбыспен бірге жүреді- бұл сықырлау немесе ысқыру болуы мүмкін.

Айналасында жарқыл пайда болатын сым (электрод) *тәжді электроды* деп аталады. «Тәж» сымның қай полюске қосылғанына байланысты оң немесе теріс болады. Газдарды электрлік тазарту кезінде тек екінші нұсқа қолданылады, яғни теріс «тәж». Оның оң полюстан айырмашылығы, біркелкілігі төмен болады, мұндай «тәж» жоғары сыни потенциалдар айырмашылығына мүмкіндік бере алады.

Тұндырғыш электродтарға келесі талаптар қойылады: ұсталған шанды еш қиындықсыз алып тастау үшін олардың беті тегіс, берік, қатты, сонымен қатар жеткілікті жоғары аэродинамикалық сипаттамаларға ие болу керек.

Тұндырғыш электродтар пішіні мен конструкциясына қарай шартты түрде үш үлкен топқа бөлінеді: пластиналық, қораптық пен ойықтыққа.

Тәжді электродтарына келесі талаптар қойылады: қарқынды және жеткілікті біркелкі тәж разрядын қамтамасыз ету үшін дәл пішінге ие болуы керек; қағып-сілкіу және діріл жағдайында сенімді, үздіксіз және ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін механикалық беріктік пен қаттылыққа ие болуы керек; даярлау қарапайымдылығы және құны төмен болуы керек, өйткені тәждік электродтары 10 шақырымға дейін ұзын болуы мүмкін (жалпы); агрессивті ортаға төзімді болу керек [14,16,17].

Тәждік электродтарының екі үлкен тобын ажыратады: *бекітілген разряд нүктелері жоқ электродтар* және *электродтың бүкіл ұзындығы бойынша бекітілген разряд нүктелері бар электродтар*. Екінші тобының разряд көздері электродтарының жұмысын басқаруға мүмкіндік ететін бұл өткір кертештер немесе тікенектер. Ол үшін тікенектер арасындағы қашықтықты өзгерту керек.

Тұндырғыш және тәждік электродтар жүйесін, әдетте, металды дәнекерленген корпустың ішіне, сирек жағдайларда П-тәрізді жақтаулар түрінде жасалған темірбетон корпусына орналастырылады. Жабдық корпустың ішіне жоғарыдан немесе бүйірден жүктеледі. Температураның деформациясы мен ылғалдың конденсациясының пайда болуын болдырмау үшін корпустың сыртында жылу оқшаулағышы болуы керек.

Шанды ауаны жеткізу және біркелкі тарату қондырғысы, әдетте, тұндырғыш және тәждік электродтар жүйесі орналасқан негізгі камераның алдына орнатылған газ тарату торлары жүйесінен тұрады және екі деңгейге орнатылған перфорацияланған парақтарды ұсынады, олардың нақты қимасы 35-тен 50 пайызға дейін болады.

Электр сүзгілерінен ұсталған шанды кетіру үшін арнайы электродтарды қағып-сілкіу жүйелері қолданылады. Құрғақ электр сүзгілерінде әдетте бірнеше осындай жүйелер қолданылады — бұл серіппелі-жұдырықты, соққы-балғалы, дірілдеткіш немесе магниттік-импульстік. Одан басқа, ұсталған бөлшектер электродтардан сумен жууылады.

Электр сүзгілерінің артықшылықтары: газдарды тазартудың жоғары дәрежесі $\eta=0,97$, азырақ энергия шығыны (1000 м³ газға 0,8 кВт-қа дейін), газды тазарту тіпті жоғары температурада да жүргізілуі мүмкін, кіші аэродинамикалық кедергі, аэрозольді ұстау процесін автоматтандыру мүмкіндігі, ұсталатын бөлшектердің кең ауқымы (0,01-ден 100 мкм-ге дейін) [12 -15].

Сонымен қатар сериялық электр сүзгілері олардың кең қолданылуын тежейтін бірқатар маңызды кемшіліктерге ие, атап айтқанда:

- $\eta=0,97$ тиімділікке қол жеткізілетін төмен сүзу жылдамдығы (1-1,2 м/с). Газ ағынының жылдамдығы артқан сайын электр сүзгісінің тиімділігі күрт төмендейді. Мысалы, газдың жылдамдығы 2,1 м/с-қа дейін көтерілгенде, тазарту дәрежесі $\eta=0,87$ дейін төмендейді [15];

- электр сүзгілер газдарды қоспалардан газ ағынының төмен жылдамдығымен ғана тазарта алатындығына байланысты арбиған және металл сыйымдылығы жоғары болады. Мысалы, УП-3-10 электр сүзгісінің өнімділігі 10 м³/с болғанда, тазартылатын газдың көлемі 140 м³ болады және ішкі жабдықтың массасы 28,7 т құрайды, ал УГ-2-4-74 электр сүзгісінің өнімділігі 74 м³/с, көлемі 1400 м³ және ішкі жабдықтың массасы 172 т болады [12,13,15];

- регенерация мақсатында тұндырғыш электродтарды мезгіл-мезгіл қағып-сілку кезінде бөлшектердің қайталама тасымалдануының болуы, бұл ретте жекелеген шаң бөлшектері алынып, ауа ағынымен тасымалданады, нәтижесінде тазалау тиімділігі төмендейді;

- меншікті кедергісі жоғары ($2 \cdot 10^6$ Ом·м, астам) ие болатын аэрозольдерді ұстаудың төмен тиімділігі [15];

- газдың үлкен шаңдануы кезінде тазарту дәрежесінің айтарлықтай төмендеуі;

- айтарлықтай экологиялық және санитарлық қауіп төндіретін газ тәрізді компоненттерді ұстаудың мүмкін еместігі.

Демек сериялық электрсүзгілерге тән кемшіліктерді жою немесе азайту олардың жұмысын қарқындырауға және газдарды тазартудың электрлік тәсілінің өзіндік құнын төмендетуге, сондай-ақ олардың қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді [15-20].

Сериялық электрсүзгілерді қайта құру нәтижелерін талдауы көрсеткендей, жетілдіру жұмыстары, әдетте, екі-үш бағытта жүргізіледі. Мысалы, электродтардың биіктігін (ұзындығын) ұлғайту арқылы тұндыру аймағын арттыру, жұқа сымдар түріндегі тәждік электродтарды ине сымдарына ауыстыру, қуат агрегаттарын жанарту.

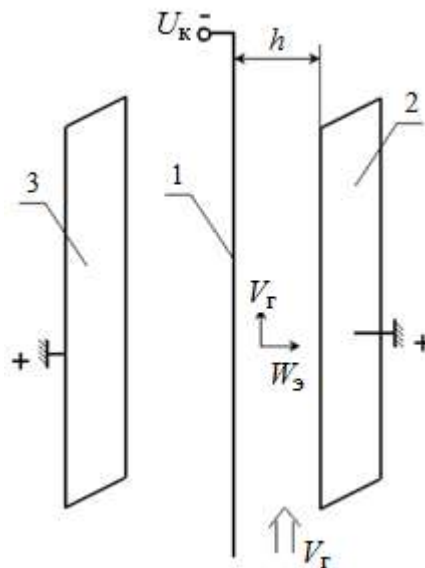
Бұл тәсілдерді қолдану электр сүзгілердің тиімділігін арттырады, бірақ нәтижелер көбінесе жеткіліксіз болады немесе бұл электр сүзгілердің өзіндік құнын едәуір арттырады.

Атап айтқанда, отандық және шетелдік тәжірибеде электродтардың өнімділігін арттыру үшін олардың биіктігін 15 м-ге дейін арттыру қолданылады [15-20]. Алайда, бұл электр сүзгілерінің өлшемдерін, металл сыйымдылығын және құнын едәуір арттыруға әкеледі, бұл газды тазартудың күрделі шығындарын едәуір арттырады және оларды қолдануын тежейтеді.

Сондықтан электр шаңы мен газды тазартуды күшейтудің басқа бағыттарын қарастырған жөн.

Зерттеу нәтижелері. Қондырғының конструктивтік өлшемдерін сақтай отырып (электродтардың биіктігі H және электродтараралық қашықтық h), газды тазарту тиімділігі, сайып келгенде, электр өрісі күштерінің әсерінен бөлшектерінің тұндыру жылдамдығының W_3 тазартылатын газ ағынының жылдамдығына V_T қатынасына тәуелді болады. Тазартылатын газ ағынының жылдамдығының V_T жоғарылауына байланысты W_3/V_T арақатынасының төмендеуі қондырғының тиімділігінің күрт төмендеуіне әкеледі. Сондықтан тазартылатын газ ағынының жылдамдығын V_T жоғарылату кезінде, жоғары тазарту тиімділігін сақтау үшін электр сүзгісінің белсенді аймағында бөлшектердің W_e тұндыру (тасымалдау) жылдамдығын арттыру қажет (сурет 4). Бұл тазалау дәрежесін төмендетпей қондырғының өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді [15-20].

Бөлшектердің тұндыру жылдамдығын W_3 арттыру үшін тұндырғыш электрод бетінің бірлігіне келетін тәжді разрядының белсенді аймақтары санының өсуі арқылы тәждік электродтарының топтарын кезектесіп қосу арқылы жылжымалы разряд аймағын құру арқылы электр күштерін күшейтуді пайдалануға болады. Бұл тәждік электродтардың бір-біріне экрандау әсерінсіз және электр сүзгілердің вольтамперлік сипаттамасын нашарлатпай, электр сүзгінің белсенді аймағындағы көлемдік зарядтың орташа тығыздығын және электр өрісінің орташа кернеулігін арттыруға мүмкіндік береді.



Сурет 4 – Жетілдірілген электр сүзгісінің жұмыс істеу сұлбасы

1-тәждік электрод (жұқа сым); 2, 3 – тұндырғыш электродтар (жазықтықтар);
 V_r – тазартылатын газ ағынының жылдамдығы; W_3 – электр өрісі күштерінің әсерінен бөлшектердің қозғалыс жылдамдығы

Электр өрісі күштерінің әсерінен өлшемдері 1 мкм-ден асатын бөлшектердің тұндыру жылдамдығы электр өрісінің орташа кернеуінің квадратына пропорционалды болғандықтан, бұл қағида газ тазарту процесін едәуір күшейтуге мүмкіндік береді. Электр өрісін күшейту және жылжитын разряд аймағын құру үшін электродтардың әртүрлі топтарына кернеу импульстарын кезекпен беретін электрсүзгінің импульстік қоректендіруін пайдалану қажет [15].

Бұл электродтардың әртүрлі топтарына кернеу импульстарын кезек-кезек беру арқылы электр сүзгісінің қоректену кернеуін және сәйкесінше электр өрісінің орташа кернеуін газ аралығының толық тесілу мен тәжді разрядының доғалық разрядқа өту қаупінсіз арттыруға мүмкіндік береді. Тәж разрядының аймағын құру үшін бір-бірінен белгілі бір қашықтықта орналасып тұратын тәжді электродтарының үш тобына кернеу импульстарын кезекпен беру қажет. Жүргізілген зерттеулер мен әдеби деректерді талдау негізінде бұл қашықтық $1,2h$ -ден $2h$ -ге дейінгі аралықта болуы керек (мұндағы h – электрод аралық қашықтық) [14].

Қорытынды. Салыстырмалы зерттеулер көрсеткендей, жылжымалы тәжді разряд аймағын құру арқылы электродтардың импульстік қоректенуі газ разрядының толық тесілуінен қорықпай электр сүзгісінің электр өрісінің орташа кернеуін едәуір арттыруға және разряд тогының тығыздығын үш есе арттыруға мүмкіндік береді, бұл электр шаңы мен газды тазарту қондырғыларында аэрозольдің тұндыру жылдамдығын W_3 едәуір арттырады. Бұл электр сүзгісі арқылы тазартылатын газ ағынының өту жылдамдығын V_r арттыруға, демек, тазалау дәрежесін нашарлатпай электр сүзгісінің өнімділігін арттыруға, сондай-ақ қондырғының өлшемдері мен металл сыйымдылығын айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді.

Осылайша, осы бағытта іске асыру электр сүзгілерінің тиімділігін едәуір арттыруға және металлургия өнеркәсібі кәсіпорындарында шығарындыларды тазартудың өзіндік құнын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Большая, Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. [Текст] / Е.П. Большая. – Новотроицк.: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.
- 2 Чекалов, Л.В. Свойства промышленных пылей и эффективность электрофильтров [Текст] / Л.В. Чекалов, Ю.И. Санаев. – Семибратово.: «Кондор – Эко», 2019 - 60 с
- 3 Ширванов, Р.Б. К вопросу определения параметров санитарно-защитной зоны промышленного предприятия [Текст] / Р.Б Ширванов, С.М. Курметова // «Современные научные исследования и разработки», 2017 - №8(16) – С.629-634.
- 4 Ширванов, Р.Б. Опасные и вредные факторы производственной среды

металлообрабатывающих цехов машиностроительных предприятий [Текст] / Р.Б. Ширванов, К.В. Петренко // «Наука и образование», 2018. - №1 (50). – С.185-193.

5 Abikenova, S. Assessing occupational risk: A classification of harmful factors in the production environment and labor process [Text] / S Abikenova [and etc.] // International Journal of Safety and Security Engineering, 2023 - Vol. 13 - P. 871-881

6 Шульц, Л.А. Экология черной металлургии ЕС [Текст]: учеб. пособ. / Л.А. Шульц, Г.С. Подгородецкий, К.С. Шатохин. — М. : МИСИС, 2016. — 155 с.

7 Ширванов Р.Б. Оценка техногенного воздействия предприятий черной металлургии на окружающую природную среду. Научная дискуссия: вопросы технических наук [Текст] / Р.Б. Ширванов, С.М. Курметова // Сб. статей по матер. XVIII междунар. науч.-практ. конф.- М: Изд. «Интернаука», 2017.- № 5(45) С. 82-86.

8 Фролов, Ю.А. Агломерация: технология, теплотехника, управление, экология [Текст] / Ю.А. Фролов. - М.: Металлургиздат, 2016. - 672 с.

9 ИТС 26 -2017 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство чугуна, стали и ферросплавов [Текст] — М. : Бюро НДТ, 2017- 478 с.

10 Loginova, I. Effect of adding sintering furnace electrostatic precipitator dust on combined leaching of bauxites and cakes [Text] / I. Loginova, A.Shoppert, L. Chaikin // Metallurgist, 2015. - Vol. 59 - P. 698-704.

11 Liu, R. Preparation and performance characteristics of an environmentally-friendly agglomerant to improve the dry dust removal effect for filter material [Text] / R. Liu [and etc.] // Journal of hazardous materials, 2020 - Vol 397 – 122734.

12 Стефаненко, В.Т. Очистка от пыли газов и воздуха на коксохимических предприятиях [Текст] : 2-е изд. перераб. и доп. под ред. В.Т. Стефаненко. - LAP Lambert Academic Publishing, 2016. -132 с.

13 Пронин, В.А. Очистка и дезодорация газовоздушных выбросов [Текст] / В.А. Пронин [и др.]. – СПб : Университет ИТМО, 2022. – 156 с.

14 Николаев, М.Ю. Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства. Технические науки - от теории к практике [Текст] / М.Ю. Николаев, А.М. Есимов, В.В. Леонов // Сб. статей по матер. XVI междунар. науч.-практ. конф.- Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014.- № 12(37) С. 59-65.

15 Балашов, А.М. Способ повышения эффективности электрофильтров для очистки выбросов предприятий металлургического комплекса [Текст] / А.М. Балашов // Рецензируемый научный журнал «Тенденции развития науки и образования», 2020. - №58(5) – С 88-91.

16 Cui, K. Efficient capture of fine particulate matters by ultrasonic atomization [Text] / K. Cui [and etc.] // Journal of environmental Chemical Engineering, 2021- Vol 9(5) – 106307.

17 Zhou, G. Study on coupling diffusion of composite dust and cloud-mist dedust technology in fully mechanized driving face of mixed coal-rock roadway [Text] / G. Zhou [and etc.] // Advanced Powder Technology, 2023 - Vol 34(1) – 103911.

18 Xie, B. Analysis of the performance of a novel dust collector combining cyclone separator and cartridge filter [Text] / B. Xie [and etc.] // Powder technology, 2018 - Vol 339- P. 695-701.

19 Feng, Z. Voltage-current characteristics of needle-plate system with different media on the collection plate [Text] / Z. Feng, Z. Long, Q. Chen // J. Electrostatics, 2014. -Vol. 72(2) – P 129-135.

20 Noh, S. Performance improvement of a cyclone separator using multiple subsidiary cyclones / S. Noh [and etc.] // Powder Technology, 2018 - Vol 338- P. 145-152.

REFERENCES

1 Bol'shina, E.P. Ekologiya metallurgicheskogo proizvodstva: Kurs lekcij. [Tekst] / E.P. Bol'shina. – Novotroick.: NF NITU «MISiS», 2012. – 155 s.

2 Chekalov, L.V. Svoystva promyshlennyh pylej i effektivnost' elektrofil'trov [Tekst] / L.V. Chekalov, YU.I.Sanaev.- Semibratovo.: «Kondor – Eko», 2019 - 60 s

3 Shirvanov, R.B. K voprosu opredeleniya parametrov sanitarno-zashhitnoj zony` promy`shlennogo predpriyatiya [Tekst] / R.B Shirvanov, S.M. Kurmetova // «Sovremenny`e nauchny`e issledovaniya i razrabotki», 2017 - #8(16) – S.629-634.

4 Shirvanov, R.B. Opasny`e i vredny`e factory` proizvodstvennoj sredy` metalloobraty`vayushhikh czekhov mashinostroitel`ny`kh predpriyatij [Tekst] / R.B. Shirvanov, K.V. Petrenko // «Nauka i obrazovanie», 2018. - #1 (50). – S.185-193.

5 Abikenova, S. Assessing occupational risk: A classification of harmful factors in the production environment and labor process [Text] / S Abikenova [and etc.] // International Journal of Safety and Security Engineering, 2023 - Vol. 13 - R. 871-881

6 Shul'cz, L.A. E'kologiya chernoj metallurgii ES [Tekst]: ucheb. posob. / L.A. Shul'cz, G.S. Podgorodeczkij, K.S. Shatokhin. — M. : MISIS, 2016. — 155 s.

7 Shirvanov R.B. Oczenka tekhnogennogo vozdejstviya predpriyatij chernoj metallurgii na okruzhayushchuyu prirodnyuyu sredy. Nauchnaya diskussiya: voprosy` tekhnicheskikh nauk [Tekst] / R.B. Shirvanov, S.M. Kurmetova // Sb. statej po mater. XVII`I mezhdunar. nauch.-prakt. konf.- M: Izd. «Internauka», 2017.- # 5(45) S. 82-86.

8 Frolov, Yu.A. Aglomeratsiya: tekhnologiya, teplotekhnika, upravlenie, e'kologiya [Tekst] / Yu.A. Frolov. - M.: Metallurgizdat, 2016. - 672 s.

9 ITS 26 -2017 Informacziionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupny`m tekhnologiyam. Proizvodstvo chuguna, stali i ferrosplavov [Tekst] — M. : Byuro NDT, 2017- 478 s.

10 Loginova, I. Effect of adding sintering furnace electrostatic precipitator dust on combined leaching of bauxites and cakes [Text] / I. Loginova, A.Shoppert, L. Chaikin // Metallurgist, 2015. - Vol. 59 - P. 698-704.

11 Liu, R. Preparation and performance characteristics of an environmentally-friendly agglomerant to improve the dry dust removal effect for filter material [Text] / R. Liu [and etc.] // Journal of hazardous materials, 2020 - Vol 397 – 122734.

12 Stefanenko, V.T. Ochistka ot py`li gazov i vozdukh na koksokhimicheskikh predpriyatiyakh [Tekst] :. 2-e izd. pererab. i dop. pod red. V.T. Stefanenko. - LAP Lambert Academic Publishing, 2016. - 132 s.

13 Pronin, V.A. Ochistka i dezodoratsiya gazovozdushny`kh vy`brosov [Tekst] / V.A. Pronin [i dr.]. – Spb : Universitet ITMO, 2022. – 156 s.

14 Nikolaev, M.Yu. E'lektrofil`try`: princip raboty` i osnovny`e dostoinstva. Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike [Tekst] / M.Yu. Nikolaev, A.M. Esimov, V.V. Leonov // Sb. statej po mater. XVI mezhdunar. nauch.-prakt. konf.- Novosibirsk: Izd. «SibAK», 2014.- # 12(37) S. 59-65.

15 Balashov, A.M. Sposob povы`sheniya e`ffektivnosti e`lektrofil`trov dlya ochistki vy`brosov predpriyatij metallurgicheskogo kompleksa [Tekst] / A.M. Balashov // Recenziruemy`j nauchny`j zhurnal «Tendenczii razvitiya nauki i obrazovaniya», 2020. - #58(5) – S 88-91.

16 Cui, K. Efficient capture of fine particulate matters by ultrasonic atomization [Text] / K. Cui [and etc.] // Journal of environmental Chemical Engineering, 2021- Vol 9(5) – 106307.

17 Zhou, G. Study on coupling diffusion of composite dust and cloud-mist dedust technology in fully mechanized driving face of mixed coal-rock roadway [Text] / G. Zhou [and etc.] // Advanced Powder Technology, 2023 - Vol 34(1) – 103911.

18 Xie, B. Analysis of the performance of a novel dust collector combining cyclone separator and cartridge filter [Text] / B. Xie [and etc.] // Powder technology, 2018 - Vol 339- R. 695-701.

19 Feng, Z. Voltage-current characteristics of needle-plate system with different media on the collection plate [Text] / Z. Feng, Z. Long, Q. Chen // J. Electrostatics, 2014. -Vol. 72(2) – P 129-135.

20 Noh, S. Performance improvement of a cyclone separator using multiple subsidiary cyclones / S. Noh [and etc.] // Powder Technology, 2018 - Vol 338- R. 145-152.

РЕЗЮМЕ

В данной статье рассматриваются проблемы состояния экологической безопасности на предприятиях металлургической промышленности, а также анализирует отрицательные последствия производственной деятельности этих предприятий на природную среду. Одной из мероприятий по охране окружающей среды и способом, направленным на повышение степени экологической безопасности является очистка промышленных выбросов в электрических фильтрах.

Подробно описан принцип работы электрофильтра и рассмотрены различные типы электрофильтров, и их осадительные и коронирующие электроды. Приведены случаи, при которых происходит процесс ионизации газов между электродами, а также отмечены преимущества серийных электрофильтров и выявленные недостатки в процессе их эксплуатации.

Вместе с тем в статье отмечено, что работы проводимые по совершенствованию электрофильтров с целью повышения их эффективности производятся лишь направлениях: повышения площади осаждения путем увеличения высоты (длины) электродов, замены коронирующих электродов в виде тонких проводов на игольчатые, модернизация агрегатов питания, что увеличивает их себестоимость. Добиться увеличение эффективности электрофильтров возможно, за счет увеличения средней напряженности электрического поля и

плотности тока коронного разряда. Реализация данного направления интенсификации пылегазоочистки позволит значительно повысить эффективность и существенно уменьшить себестоимость очистки выбросов на предприятиях металлургической промышленности.