

Оригинальная статья / Original article

УДК 669.162.001.24

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-108-114>

Снижение рисков опасных факторов на дуговых сталеплавильных печах

© У.М. Халикулов¹, А.А. Сулейманов², М.Б. Арипходжаева³

¹Алмалыкский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», г. Алмалык, Узбекистан

^{2,3}Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Резюме: В данной статье проанализированы особенности рисков при предварительном подогреве сырья с помощью отходящих газов во время плавки в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Произведена оценка степени воздействия опасных факторов в ДСП. Особенности объясняются рядом параметров и критериев сырья, состава шихты и технологии, реализуемой в ДСП и электросталеплавильных цехов. Предложены решение технических задач обеспечения безопасности технологического процесса ДСП. Дается формула учета снижения вероятности рисков при снижении количества опасных факторов.

Ключевые слова: риски на промышленных объектах, протектоника, ноксология, опасные факторы, обеспечение безопасности, механизмы и методы обеспечения безопасности, АО «Узметкомбинат», состав шихты, высокая температура, источники опасности, рискология

Информация о статье: Дата поступления 10 января 2020 г.; дата принятия к печати 19 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 31 марта 2020 г.

Для цитирования: Халикулов У.М., Сулейманов А.А., Арипходжаева М.Б. Снижение рисков опасных факторов на дуговых сталеплавильных печах. XXI век. Техносферная безопасность. 2020;5(1):108–114. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-1-108-114>

Reducing the risk of hazards for arc steel furnaces

Utkir M. Khalikulov¹, Adiljan A. Suleimanov², Malika B. Aripkhodzhaeva³

¹Almalyk branch of the National Research Technological University "MISiS", Almylyk, Uzbekistan

^{2,3}Tashkent State Technical University I.A. Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article analyzes features of risks when preheating raw materials using waste gases during melting in arc steel furnaces. The degree of impact of hazardous factors was assessed. The features are due to a number of parameters of raw materials, the composition of the charge and technology implemented in ASFs and electric smelting shops. The solution of safety problems for the technological process in ASFs was offered. The formula for accounting a decrease in quantity of dangerous factors was given.

Key words: Risks at industrial facilities, protectonics, noxology, hazards, safety, mechanisms and methods of safety, JSC "Uzmetkombinat", the composition of the charge, high temperature, sources of danger, riskology.

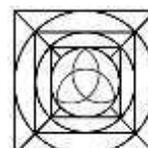
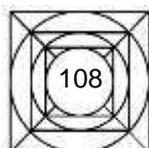
Information about the article: Received January 10, 2020; accepted for publication February 19, 2020; available online March 31, 2020.

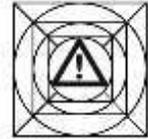
For citation: Khalikulov UM, Suleimanov AA, Aripkhodzhaeva MB. Reducing the risk of hazards for arc steel furnaces. XXI century. Technosphere Safety. 2020;5(1):108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-1-108-114>

1. Введение

Металлургический комплекс, являясь базовой отраслью промышленности, вносит существенный вклад как в экономи-

ку страны, так и в загрязнение окружающей среды. Развитие научных направлений обеспечения безопасности от опасностей в техносфере в конце XX в. потребовало по-





явления таких наук как *протектология*, *протектоника*, в XXI в. появились такие науки как *ноксология* и *рискология*. [1–3]

Тенденция увеличения потребности в продукции сталеплавильного производства обязывает в увеличении мощностей отечественной индустрии производства стали, где основную роль играет АО «Узметкомбинат», расположенный в г. Бекабад Ташкентской области, однако все это заставляет серьезно продумать процессы обеспечения безопасности процессов эксплуатации дугоплавильных печей.

В связи со структурными изменениями и существенном изменении подхода к производственному циклу АО «Узметкомбинат» удалось увеличить производство более чем в 1,5 раза и по прогнозам в 2019 г. объем производства сортопрокатной продукции составит более 1 млн т.

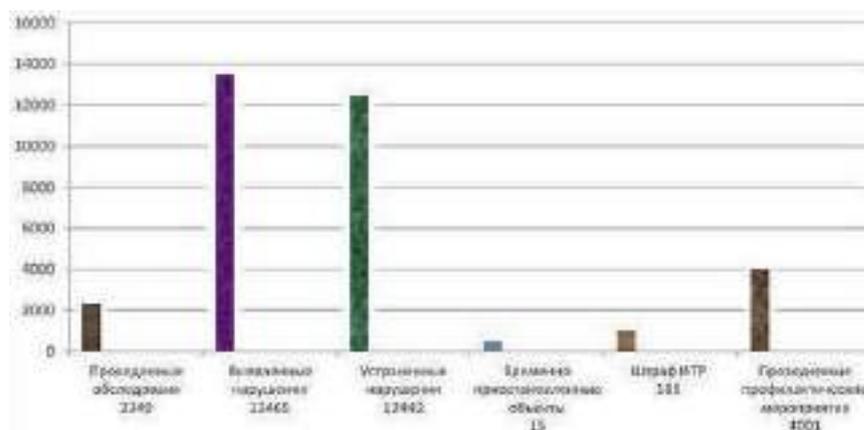
Следует отметить, что основной печью электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) АО «Узметкомбинат» является дуговая сталеплавильная печь емкостью 100 т (ДСП 100УМК).

При этом само производство при увеличенном объеме производственной мощности осуществляется без существенных замен основных агрегатов, используемых для плавки. Например, при увеличен-

ных мощностях плавка стали осуществляется в единственной печи ДСП-100УМК.

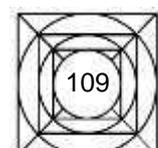
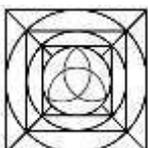
Конструктивно-технологические особенности дуговой электропечи делают ее чрезвычайно мобильным плавильным агрегатом, позволяющим использовать разнообразные графики работы – непрерывный в течение 5 сут. в неделю, 1-2 смены в сут.

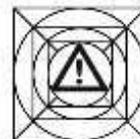
По характеру используемого сырья АО «Узметкомбинат» в последнее время не является однородной, так как раньше, до структурных преобразований, в основном использовалась металлический лом и отходы углеродистой стали, а сейчас при увеличенных мощностях применяется вместе с металлическим ломом и отходами горячешкетированное железо (ГБЖ). Приходится прерывать ход плавки и подгружать шихту. Это увеличивает продолжительность плавки, приводит к повышенному расходу электроэнергии, снижает производительность дуговых сталеплавильных печей. При этом увеличивается численность рисков, связанных с пуском остановкой и/или перезапуском технологического процесса. На рисунке показана гистограмма расследованных несчастных случаев.



Гистограмма результатов расследований несчастных случаев на производстве

Histogram of the results of investigations into industrial accidents





Источники опасных факторов могут проявляться в следующих случаях:

- в ломе не допускается наличие цветных металлов (меди, бронзы, олова, свинца, латуни и др.), в связи с чем цветной лом отделяют от лома и сортируют;
- допустимое содержание фосфора в ломе для основных дуговых печей не должно превышать 0,050% (исключение составляют отходы группы Б22);
- лом не должен быть сильно окислен из-за возможности потери контроля над процессом плавки.

Для обеспечения требований по безопасности современные крупнотоннажные ДСП оборудуют системами отвода и очистки газов, отличающимися огромными объемами очищаемых газов. Производительность таких систем достигает 15 тыс. м³ очищаемых газов на тонну выплавляемой стали, что в десятки раз превышает газовыделение этих печей и связано со значительными капитальными затратами и затратами энергии на очистку. Энергозатраты только на транспортирование очищаемых газов могут достигать 40–60 кВт·ч/т, что составляет 15–20% и более от общих расходов энергии на выплавку стали в печи. Поэтому поиск путей повышения обеспечения безопасности, работы систем очистки газов актуален как с точки зрения обеспечения безопасности, так и с точки зрения энергосбережения.

Необходимо отметить, что проблема снижения рисков чистого сталеплавильного производства может быть решена предотвращением неорганизованных выбросов и увеличением эффективности работы систем отвода и очистки газов. Правильный учет количественных показателей технологических и удаляемых газов, правильная организация системы отвода и подготовки газов позволяет существенно уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы,

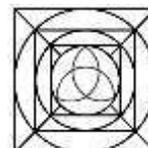
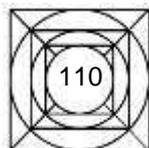
которые при модернизации газоочистного оборудования могут достигать 50% от расходов основного производства.

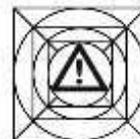
В связи с этими факторами естественно формируется вопрос совершенствования систем отвода, дожигания и очистки газов крупнотоннажных дуговых сталеплавильных печей, направленное на повышение их защищенной эффективности, уменьшение объемов очищаемых газов и на сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Методы снижения рисков в металлургии следующие:

- выявление уровня воздействия опасных факторов на жизнедеятельность человека;
- совершенствование методик расчета и оценки газовыделения ДСП;
- исследование условий дожигания технологических газов ДСП и оптимизация режимов работы узлов их дожигания и охлаждения;
- изыскание путей повышения эффективности отвода и очистки газов ДСП при сокращении энергозатрат на очистку;
- разработка научно обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасности ДСП.

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях, максимально приближенных к условиям электросталеплавильного цеха АО «Узметкомбинат», позволили усовершенствовать методику расчета газовыделения, учитывающую специфику газовыделения в ДСП как в рабочем пространстве печи, так и при их дожигании на выходе из печи (таблица). Проведенные исследования позволили дать оценку влияния технологических характеристик работы ДСП на процесс газовыделения и повысить надежность проектирования системы очистки газов [4–7].





Основные характеристики способов производства стали The main characteristics of steel production methods

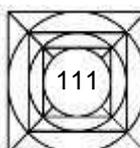
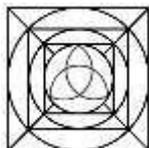
Показатель	Вид сталеплавильного агрегата		
	мартен	конвертер	электродуговая печь
Потери железа, кг/т жидкой стали (ЖС): – с пылью;	10	14	32–36
– с корольками в шлак;	24	15	5
– с оксидами в шлак;	4	13	4
– суммарные;	38	42	35–75
Удельные потери тепла, ГДж/т жидкой стали	0,94	0,064	0,45
Доля углерода, окисляемого до СО, %	0	90	70
Объем подсосов воздуха в печь, кг/т стали	21,42	2,08	6,4
Удельный выход дымовых газов, м ³ /т стали	353	92	297
Удельный выход шлака, кг/т стали	114,1	95,5	82
Расход футеровки, кг/т стали	24	3,2	5

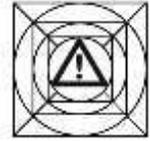
Методика совершенствования условий дожигания и охлаждения технологических газов может снизить общие объемы очищаемых газов, а, следовательно, и способствовать существенному сокращению выбросов стойких органических загрязнителей (наиболее токсичные – диоксины и фураны), что способно повысить безопасность объекта в целом. Несмотря на огромные количества поступающих на очистку газов, вопросы эффективного дожигания и охлаждения технологических газов современных ДСП не решены. При этом основой решения экологической проблемы ДСП является полная деструкция диоксинов в зоне высокотемпературного дожигания газов. Решением проблемы эффективного дожигания и охлаждения технологических газов является их высокотемпературное дожигание с последующим испарительным охлаждением [1, 3].

Установлено, что важным инструментом, способствующим снижению безопасности в электросталеплавильном производстве, может служить снижение энергоемкости систем очистки газов. При этом

одним из наиболее эффективных путей экономии представляется сокращение энергозатрат за счет уменьшения расходов на транспортирование газов путем сокращения неоправданно большого количества аспирационных газов, поступающих на очистку. Анализ работы современных систем аспирации указал на необходимость отказаться от неспецифичной для них функции – необходимости охлаждения технологических газов. Охлаждение технологических газов можно и нужно проводить не разбавлением низкотемпературными аспирационными газами, а более эффективными и энергетически выгодными способами: испарительным охлаждением путем впрыска воды, либо охлаждением с использованием котлов-утилизаторов, либо подогревом металлического лома.

В динамике экспериментов выявлено, что эффективная работа аспирационных систем сталеплавильных цехов в значительной степени определяется герметичностью печей, непрерывностью их работы и стабильностью газового режима. Снижение рисков – выбором конструкции и си-





стемы установки зонтов, использованием аспирационных газов в качестве окислителя горючих компонентов и возможностью сокращения их удельного объема до 2-3 тыс. м³/т.

Следует отметить, что доведение степень дожигания СО в рабочем пространстве печи до 100%, так как в этом случае повышается содержание оксидов азота (NO_x) в отходящих газах, что повышает опасные факторы, что приводит к увеличению рисков. При этом увеличивается износ футеровки и боковой расход электродов, повышается вероятность прогара стеновых панелей и уменьшается выход годного в результате большого уноса оксидов железа с технологическими газами. Разработанный в НИТУ «МИСиС» в г. Алма-тык вихревой радиационный инжектор с металлическим водоохлаждаемым диффузором для получения веерного факела, дожигающий СО вблизи поверхности свода, позволил снизить расход электроэнергии за плавку на 20-34 кВт-ч/т (4–6%) без заметного увеличения концентрации NO_x. [8–9]

Увеличение содержания углерода в загружаемой шихте так же дополнительный опасный фактор, как и использование ТКГ является эффективным способом ускорения электроплавки. Применение порошков железорудного концентрата в струе кислорода ведет к снижению содержания пыли в отходящих газах в 4–8 раз по сравнению с ее содержанием при продувке кислородом [10]. Работа печей на вспененном шлаке, подогрев лома в шахте печи, оптимизация электрорежима плавки и оптимизация работы ТКГ позволили значительно снизить энергозатраты печи и довести их до 269,6 кВт-ч/т.

Если при обычной эксплуатации ДСП воздействие опасных факторов можно записать формулой

$$W = \sum f^n, \quad (1)$$

то при уменьшение количества опасных

факторов на N факторов данная формула видоизменится следующим образом:

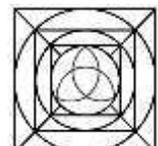
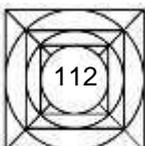
$$W = \sum f^n - \sum f^N, \quad (2)$$

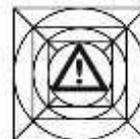
где W вероятность риска на производстве; N – число технически отстраненных или приостановленных опасных факторов; n – число всех опасных факторов при нормальной эксплуатации ДСП; f – функция связывающая опасный фактор с риском [11–12].

Важным требованием обеспечения безопасности, внепечной обработки является отсечка печного шлака при выпуске. Первым шагом в направлении упрощения и повышения надежности отсечки шлака было использование так называемого сифонного выпуска, т.е. размещение выпускного отверстия печи ниже уровня расплавленной ванны. Следующим шагом стал метод донного центрального, а затем внецентренного (эркерного) выпуска. Перемешивание ванны в дуговых печах используется для ускорения расплавления шлаком и лома, усреднения температуры и состава ванны, активизации реакции между шлаком и металлом в зоне низкотемпературного расплава и реакции деазотации. При этом повышается производительность печей на 3–6%, снижает расход электроэнергии на огнеупоры – на 10%.

2. Заключение

Снижение рисков можно добиться уменьшением опасных факторов на сталеплавильной печи. Повышение качества лома и его подогрев представляется одним из эффективных путей повышения безопасности показателей ДСП. С целью обеспечения безопасности весьма заманчивым представляется технологическое использование тепла отходящих печных газов, которые составляют существенную часть теплового баланса электропечи (более 19–25%). Технология электросталеплавильного производства с предварительным нагре-





вом лома позволяет создать сверхмощные ДСП в их наиболее ожидаемом в будущем

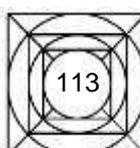
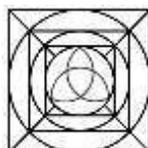
варианте – без применения топлива, что способно снизить риски на рабочих местах.

Библиографический список

1. Сулейманов А.А., Гаффория М.А. Теория вероятности в оценке риска при чрезвычайных ситуациях в нефтегазовой отрасли: сб. тез. студ. науч. конф. «Нефть и газ 2018». Ташкент: Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в Ташкенте. С. 75.
2. Сулейманов А.А. Рецензия на монографию «Технология очистки и утилизации нефтеотходов с использованием местных сорбентов» С.С. Шомансурова. Саарбрюккен. С. 3–7.
3. Халикулов У.М., Саидова К.А. Исследование процессов фильтрации с колметацией парового пространства: материалы республиканской научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития» (г. Навои, 15–16 ноября, 2016 г.). Навои, 2016. С. 115–116.
4. Fett F., Pfeifer H., Siegert H. Energetische Untersuchung eines. Hochleistungslichtbogenofens. Stahl und Eisen. 1982. № 102. P. 461–465.
5. Brod H., Kempkens F., Strohschein H. Energierückgewinnung aus einem UHP-Elektrolichtbogenofen. Stahl und Eisen 1989. Vol. 109. № 5. P. 229–238.
6. Киселёв А.Д., Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Повышение эффективности газоудаления дуговых сталеплавильных печей. М.: Металлургия, 1992. С. 11–12.
7. Гудим Ю.А., Зинуров И.Ю., Киселёв А.Д., Шумаков А.М. Рациональные способы интенсификации плавки в современных дуговых сталеплавильных печах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2008. № 9 (109). С. 11–13.
8. Смоляренко В.Д. Электродуговые печи нового поколения. М.: АО ВНИИЭТО, 2006. 7 с.
9. Timm K. Kreisdiagramm: Grundlagen von Drehstromofen. IFB Institut für Bildung. 25 Seminar Elektrotechnik des Lichtbogenofens. Kehl, October 2001. P. 4–12.
10. Hoinkis J., Lindner E. Chemie für Ingenieure – Chemische Reaktionen. WILEY-VCH. Zwölfte Auflage. 2001. № 93. P. 96–97.
11. Сулейманов А.А. Анализ рисков на предприятиях промышленности в результате сейсмоздействия со вторичными пожарами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2018. № 2. С. 92–106.
12. Сулейманов А.А., Курбанбаев Ш.Э., Ибрагимов Б.Т. Энергетическая цена вероятности обеспечения безопасности от самопроизвольной эволюции системы // Архитектура и дизайн. 2017. № 3–4. С. 108–111.

References

1. Suleimanov AA, Gafforiya MA. Probability theory for risk assessment in emergency situations in the oil and gas industry: *sbornik tezisev studencheskoi nauchnoi konferentsii «Nef't' i gaz-2018»* = collection of proc. stud. science. conf. "Oil and gas 2018". Tashkent: The Branch of the Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after Ivan Mikhaylovich Gubkin. p. 75. (In Russ.)
2. Suleimanov AA. Review of the monograph "Technology of cleaning and utilization of oil waste using local sorbents" by SS. Shomansurov. Saarbruecken. p. 3–7. (In Russ.)
3. Khalikulov UM, Saidova KA. Investigation of filtration processes with steam space collimation. In: «*Gornometallurgicheskii kompleks: dostizheniya, problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya*»: *materialy respublikanskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* = "Mining and metallurgical industries: achievements, problems and prospects of innovative development: materials of the Republican scientific and technical conference". Navoi, 15–16 November, 2016. Navoi; 2016;115–116. (In Russ.)
4. Fett F, Pfeifer H, Siegert H. Energetische Untersuchung eines. Hochleistungslichtbogenofens. Stahl und Eisen. 1982;102:461–465.
5. Brod H, Kempkens F, Strohschein H. Energierückgewinnung aus einem UHP-Elektrolichtbogenofen. Stahl und Eisen. 1989;109(5):229–238.
6. Kiselev AD, Tulevski YuN, Zinurov IY. Improving the efficiency of gas removal electric arc furnaces. Moscow: Metallurgiya; 1992;11–12. (In Russ.)
7. Gudim YuA, Zinurov IYu, Kiselev AD, Shumakov AM. Rational ways to intensify melting in modern arc steelmaking furnaces. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya „Metallurgiya“* = Bulletin of the South Ural State University. Series "Metallurgy". 2008;9(109):11–13. (In Russ.)
8. Smolyarenko VD. Electric Arc furnaces of the new generation. Moscow: Joint-stock company of the all-





Union research Institute of electrothermal equipment; 2006; 7 p. (In Russ.)

9. Timm K. Kreisdiagramm: Grundlagen von Drehstromofen. IFB Institut für Bildung. 25 Seminar Elektrotechnik des Lichtbogenofens. Kehl, October 2001;4–12.

10. Hoinkis J., Lindner E. Chemie für Ingenieure – Chemische Reaktionen. WILEY-VCH. *Zwölfte Auflage*. 2001;93:96–97.

11. Suleimanov AA. Risk Analysis at Industrial

Enterprises Exposed to Post-Earthquake Fires. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki* = Vestnik Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Physics, mathematics, and technology. 2018;2:92–106. (In Russ.)

12. Suleymanov AA, Kurbanbaev ShE., Ibragimov BT. The energy price of probability of safety from the spontaneous evolution of the system. *Arkhitektura i dizain* = Architecture and design. 2017;3-4:108–111. (In Russ.)

Критерии авторства

Халикулов У.М., Сулейманов А.А., Арипходжаева М.Б. имеют равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Сведения об авторах

Халикулов Уткир Мирзакамалович, старший преподаватель кафедры технология горно-металлургических процессов, Алмалыкский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», 110100, г. Алмылык, ул. Амира Темура, 56, Узбекистан.

Сулейманов Адылжан Арифджанович, доктор технических наук, профессор кафедры безопасность жизнедеятельности, Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, Узбекистан, ✉ e-mail: baxa332@gmail.com

Арипходжаева Малика Бахтияровна, старший преподаватель кафедры безопасность жизнедеятельности, Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова, 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, Узбекистан.

Contribution

Khalikulov U.M., Suleimanov A.A., Aripkhodzhaeva M.B. have equal author rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the authors

Utkir M. Khalikulov, Senior Lecturer, Technology Department mining and metallurgical processes Almalyk branch of the National Research Technological University "MISiS", 110100, Almylyk, 56 Amir Temur st., Uzbekistan

Adiljan A. Suleimanov, Doctor of Sci. (Eng.), Professor of the Health and safety department, Tashkent State Technical University, 2 University Str., Tashkent 100095, Uzbekistan, ✉ e-mail: baxa332@gmail.com

Malika B. Aripkhodzhaeva, Senior Lecturer of the Health and safety department, Tashkent State Technical University, 2 University Str., Tashkent 100095, Uzbekistan.

