

И. А. Шалевская, Ю. И. Гутько, Н. И. Тарасевич*, О. О. Токарева*

Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля, Северодонецк

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Прогнозирование образования выбросов вредных веществ из литейных плавильных печей

Приведены результаты исследования образования выбросов загрязняющих веществ от литейных плавильных печей на базе промышленных данных. Определена зависимость между образованием выбросов вредных веществ и технологическими параметрами плавки, построены графики зависимости функции отклика от каждого из независимых параметров.

Ключевые слова: выбросы вредных веществ, литейные плавильные печи, регрессионные модели, экология, литье

Проблема загрязнения атмосферы промышленными выбросами является глобальной. При этом литейное производство, к сожалению, остается среди лидеров по объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В литейных цехах около 40-50 % газообразных и пылевых отходов приходится на долю плавильных агрегатов. Величина выбросов пыли в атмосферу колеблется от 0,3-0,4 кг/т выплавляемого металла в индукционных печах до 10-18 кг/т при плавке в вагранке закрытого типа с горячим дутьем [1]. Состав пыли при плавке чугуна в вагранках включает кремнезем, оксиды железа, глинозем и углерод, а при плавке в электропечах – в основном оксиды железа и кремния. Кроме пыли при плавке металла выделяется большое количество газов, в основном это оксиды углерода (CO), оксиды азота (NO) и сернистый газ.

В связи с актуальностью вопроса в работе было проведено исследование образования выбросов загрязняющих веществ из плавильных печей с целью

определения возможности математического моделирования процесса.

В то же время были изучены производственные условия образования выбросов загрязняющих веществ, ознакомление с качественным и количественным составом выбросов, санитарно-гигиеническими и другими характеристиками, существующими на производстве.

Результатами проведенной работы стали анализ полученных данных, построение регрессионных моделей и проверка их адекватности.

Изучалось влияние технологических параметров процесса плавки чугуна на количество выбросов вредных веществ [2].

Было проведено 16 экспериментов, при этом независимых параметров было 6, функций отклика – 4 (таблица) [3, 4].

Поскольку количество экспериментов недостаточно для получения моделей вида «полный квадрат» (линейные члены, квадраты и взаимодействия факторов), были получены модели, включающие только линейные члены и квадраты.

Результаты замеров выбросов

Номер плавки	Изучаемые факторы						Контролируемые показатели, кг/т			
	C	Si	S	P	Mn	Q*	SiO ₂	NO ₂	SO ₂	CO
	%					кг				
1	3,4	2,0	0,024	0,080	0,55	2500	65,74	9,25	15,26	206,5
2	3,6	2,06	0,024	0,082	0,62	2650	78,43	10,23	11,34	210,4
3	3,6	2,28	0,025	0,079	0,58	2520	69,71	9,16	10,58	207,2
4	3,45	2,04	0,023	0,080	0,6	2680	75,25	10,2	10,25	209,4
5	3,6	2,08	0,024	0,080	0,62	2780	81,64	10,22	14,53	214,5
6	3,62	2,05	0,024	0,080	0,59	2550	66,94	9,97	13,75	204,6
7	3,6	2,06	0,022	0,080	0,6	2700	80,51	9,68	14,72	210,6
8	3,58	2, 2	0,024	0,080	0,62	2740	82,52	9,95	10,58	213,6
9	3,58	2,09	0,024	0,080	0,65	2800	92,43	10,12	13,72	225,7
10	3,5	2,04	0,024	0,080	0,55	2700	76,69	9,48	12,57	211,8
11	3,52	2,20	0,024	0,080	0,62	2650	72,75	9,25	12,84	209,3
12	3,6	2,12	0,024	0,080	0,64	2550	70,26	10,06	12,48	205,9
13	3,62	2,18	0,024	0,080	0,61	2600	74,83	9,23	10,23	215,2
14	3,64	2,16	0,023	0,080	0,54	2580	69,64	8,25	12,28	207,0
15	3,6	2, 1	0,024	0,080	0,62	2760	84,74	9,78	10,27	214,4
16	3,65	2,14	0,025	0,080	0,65	2850	88,32	10,25	11,16	226,0

* Q – объем плавки

Для наглядной демонстрации влияния отдельных факторов в многофакторных моделях были построены графики зависимости функций отклика от каждого из независимых параметров в пределах их области определения. Остальные параметры при этом фиксировались в некоторых заранее заданных значениях (минимальном, максимальном или среднем), а также в пределах области определения.

На каждом графике приведены три кривые (min, middle, max), для которых значения фиксированных параметров минимальные, средние и максимальные соответственно. Значения серы и фосфора иногда для большей наглядности брались 0,024 и 0,080 соответственно (эти значения имеют большинство точек массива, других значений очень мало, поэтому описания для этих значений наиболее достоверны).

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 = & 13661,0 - 6883,73 \cdot C - 19,9192 \cdot \text{Si} + \\ & + 90973,7 \cdot S - 81138,9 \cdot P + 0,740571 \cdot Q + \\ & + 952,624 \cdot C^2 - 1853140,0 \cdot S^2 + \\ & + 491311,0 \cdot P^2 + 29,1594 \cdot \text{Mn}^2 - \\ & - 0,000120754 \cdot Q^2 \\ R^2 = & 99,5977 \end{aligned}$$

При исследовании зависимости количества выбросов пыли с содержанием SiO_2 от содержания химических элементов в сплаве и объема плавки было выявлено следующее: модель дает хорошее описание, коэффициент корреляции близок к единице, графики хорошо ложатся на область значений. Зависимость от углерода квадратичная, виден минимум значений SiO_2 при значении близком к 3,62 (рис. 1).

Зависимость от кремния линейная (монотонное убывание) (рис. 2).

Зависимость от серы квадратичная, максимум в районе 0,0245 (рис. 3).

Зависимость от фосфора квадратичная, минимум в районе 0,083 (рис. 4).

Зависимость от марганца квадратичная, в области определения монотонное возрастание (рис. 5).

Зависимость от объема плавки квадратичная, монотонное увеличение (рис. 6).

Далее зависимость других видов выбросов показана в виде математических моделей и описаний к ним.

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 = & (- 5071,4) + 3086,43 \cdot C + 154,946 \cdot \text{Si} - \\ & - 1550,04 \cdot S + 7,03491 \cdot \text{Mn} - 0,45843 \cdot Q - \\ & - 427,386 \cdot C^2 - 36,7815 \cdot \text{Si}^2 + 0,0000845438 \cdot Q^2 \\ R^2 = & 68,5521 \end{aligned}$$

Модель дает неплохое описание, хотя коэффициент корреляции и не очень высокий.

Зависимость от углерода квадратичная, максимум значений функций отклика при значении, близком к 3,60.

Зависимость от кремния квадратичная, максимум в районе 2,15.

Зависимость от серы линейная, монотонно уменьшается.

Зависимость от марганца линейная, монотонно увеличивается.

Зависимость от объема плавки квадратичная, минимум в районе 2725.

$$\begin{aligned} \text{SO}_2 = & (- 19547,7) + 11791,6 \cdot C + 842,173 \cdot \text{Si} - \\ & - 214423,0 \cdot S + 33,1728 \cdot \text{Mn} - 1632,65 \cdot C^2 - \\ & - 197,257 \cdot \text{Si}^2 + 4387140 \cdot S^2 \\ R^2 = & 74,0515 \end{aligned}$$

Модель не очень хорошая, коэффициент корреляции ниже 0,75.

Зависимость от углерода квадратичная, видно максимум значений функций отклика при значении близком к 3,61.

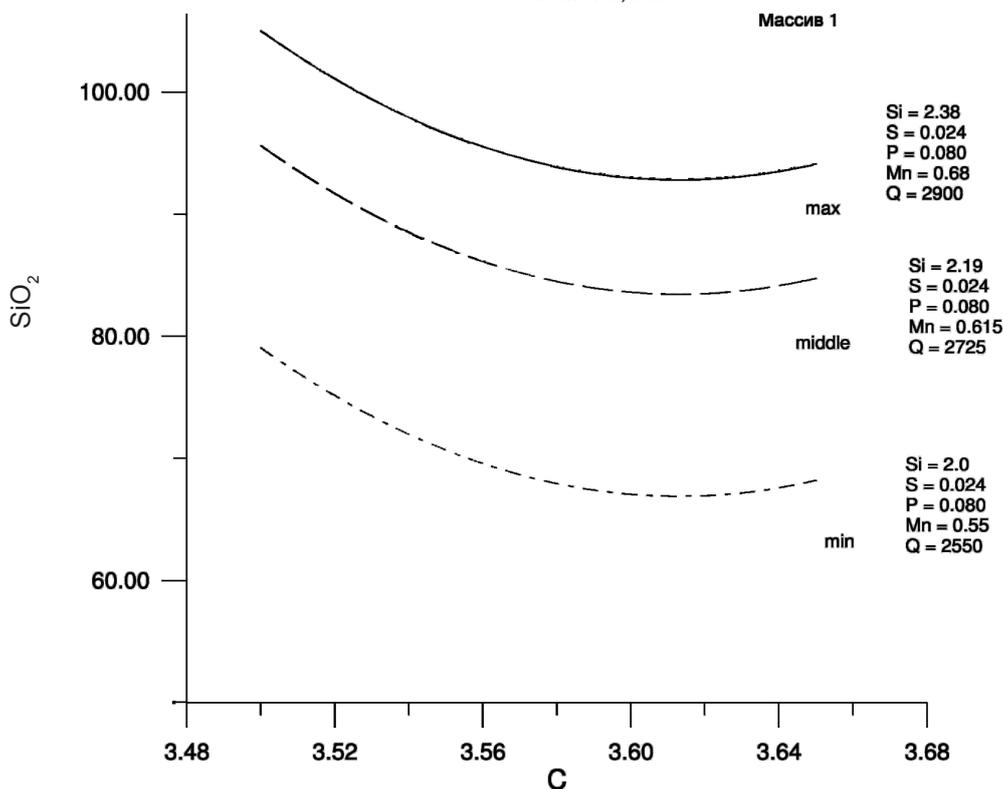


Рис. 1. Зависимость выбросов SiO_2 от содержания углерода

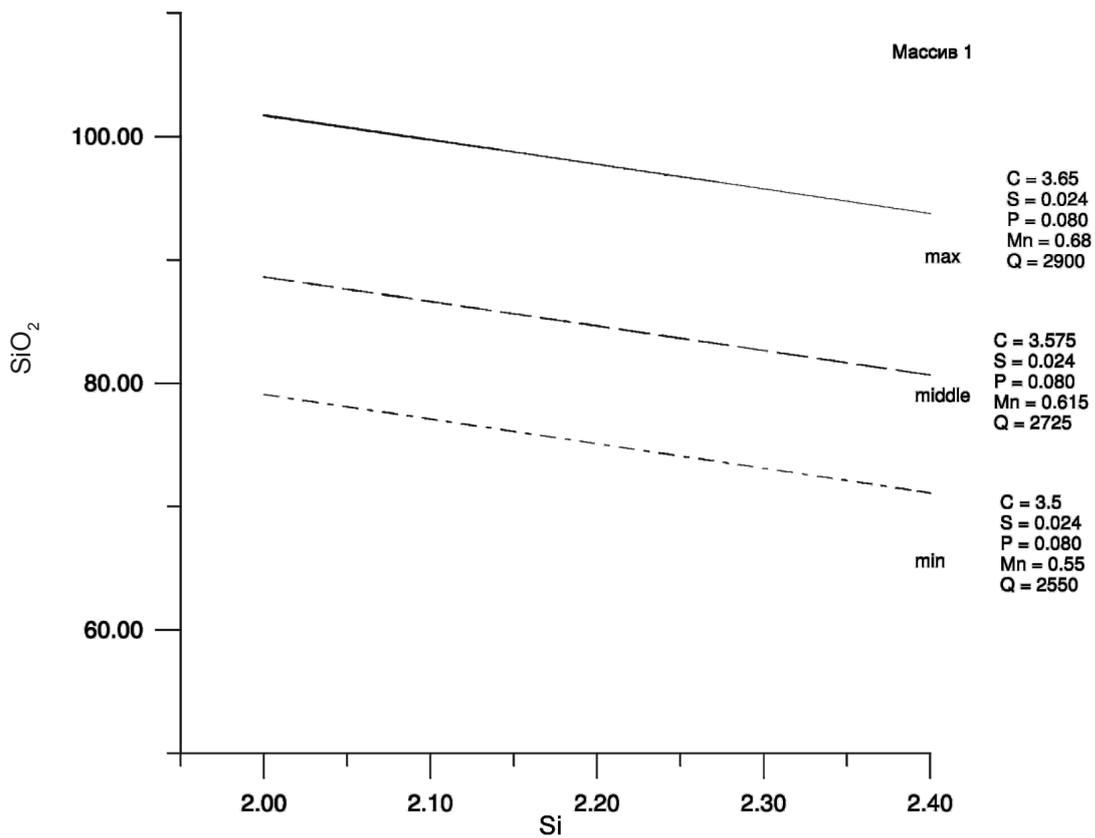


Рис. 2. Зависимость выбросов SiO₂ от содержания кремния

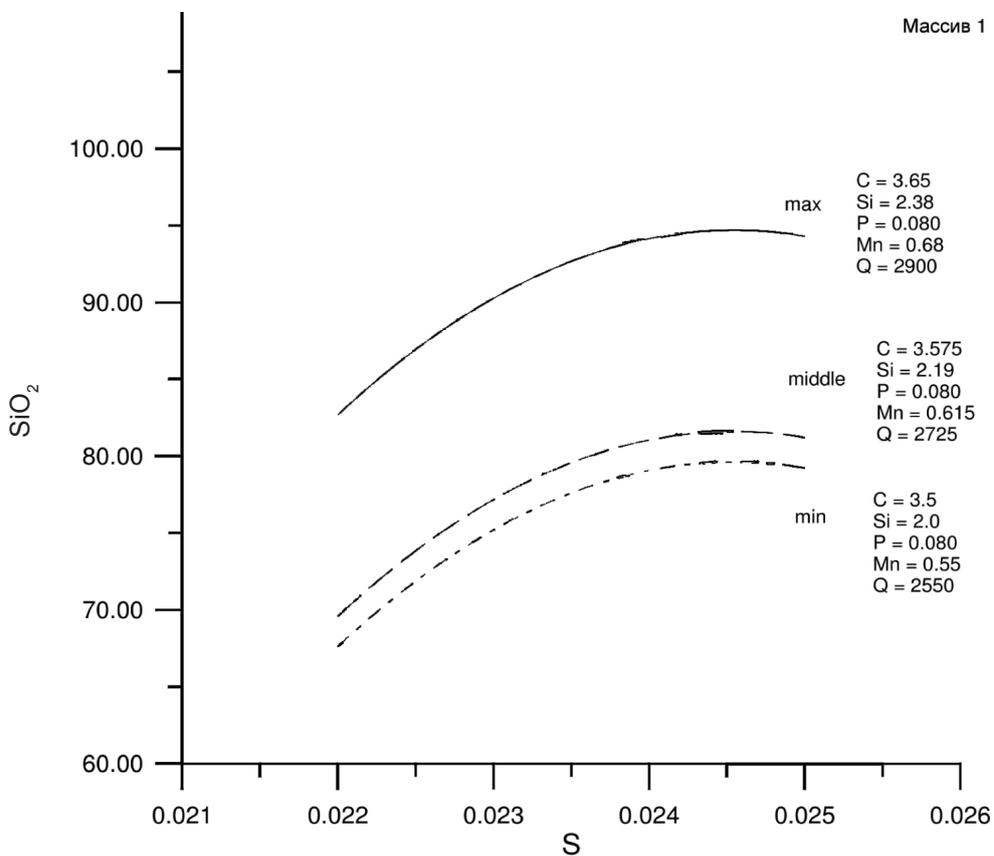


Рис. 3. Зависимость выбросов SiO₂ от содержания серы

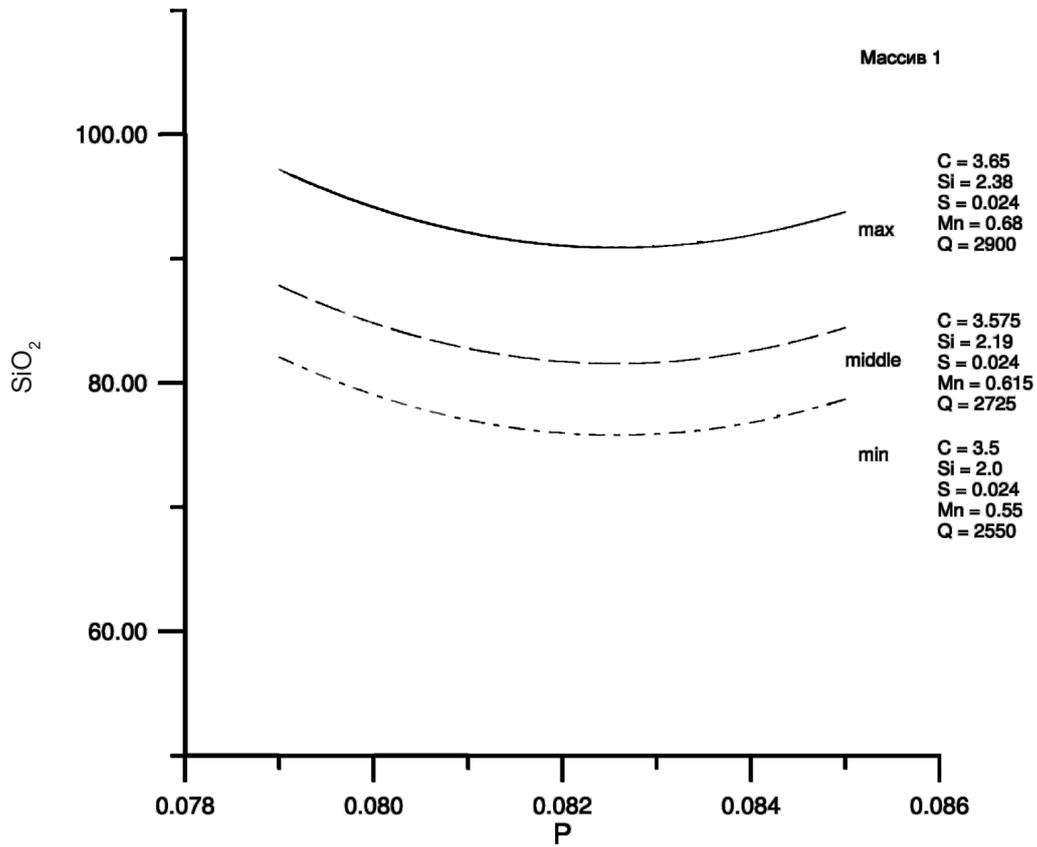


Рис. 4. Зависимость выбросов SiO_2 от содержания фосфора

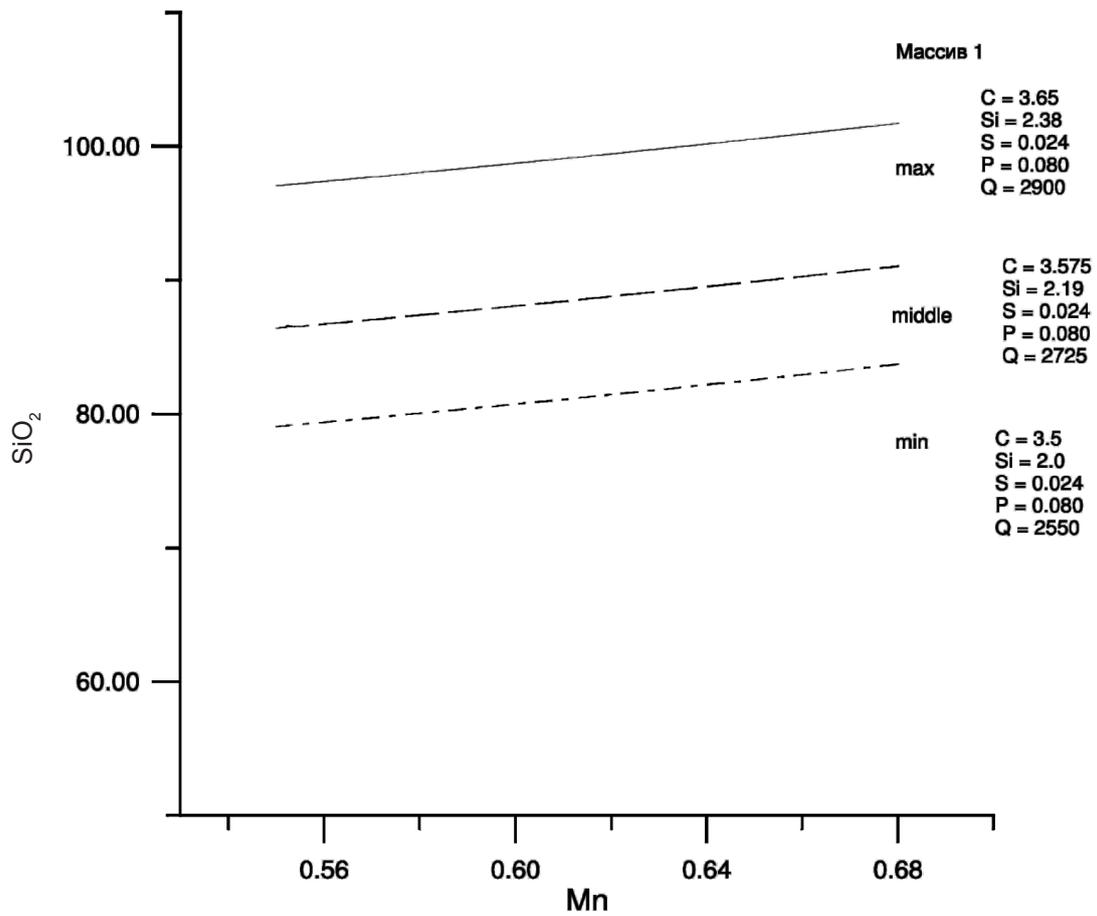


Рис. 5. Зависимость выбросов SiO_2 от содержания марганца

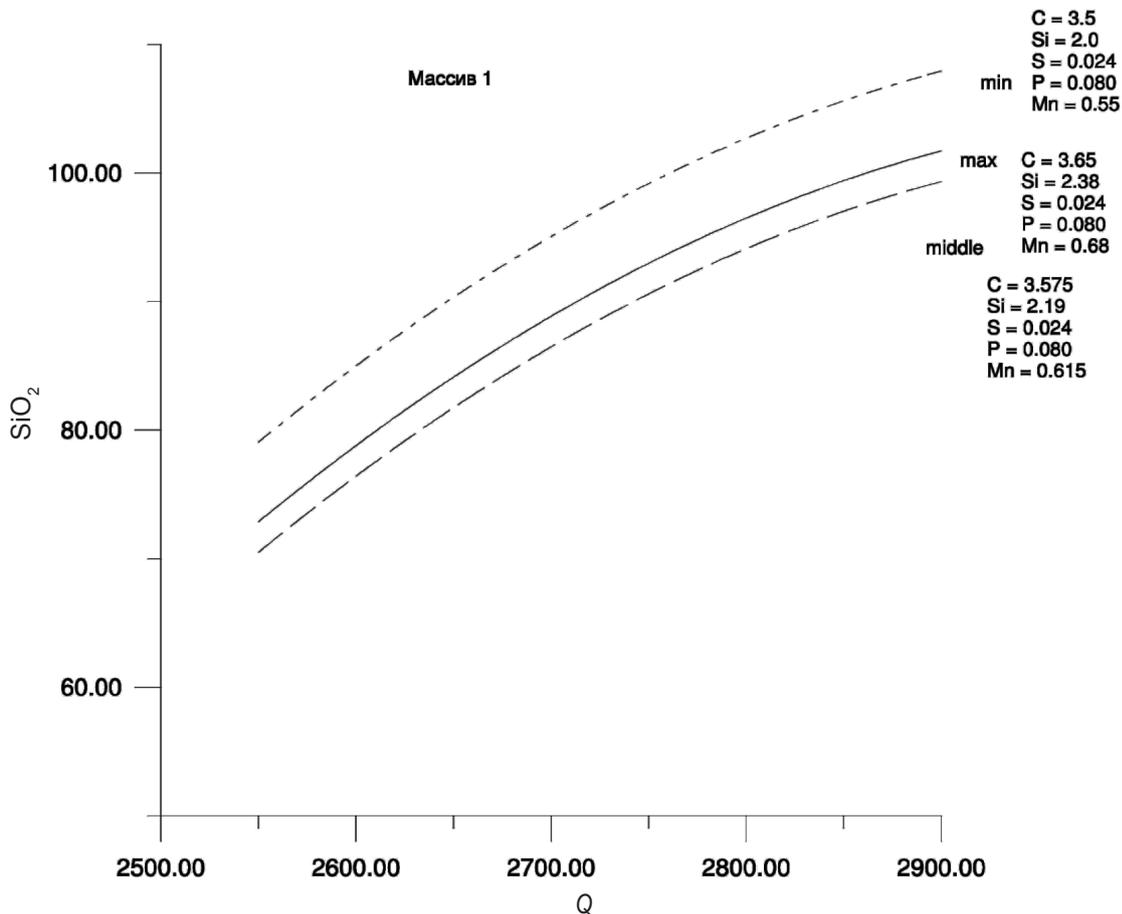


Рис. 6. Зависимость выбросов SiO_2 от объема плавки

Зависимость от кремния квадратичная, максимум в районе 2,15.

Зависимость от серы квадратичная, минимум в районе 0,0245, там же выход за пределы области значений.

Зависимость от марганца линейная, монотонное увеличение.

$$\begin{aligned} \text{CO} = & 19551,7 - 323,099 \cdot \text{C} - 3345,29 \cdot \text{Si} - \\ & - 695254,0 \cdot \text{P} + 10,1948 \cdot \text{Q} + 774,095 \cdot \text{Si}^2 + \\ & + 4219890 \cdot \text{P}^2 + 193,952 \cdot \text{Mn} - 0,00185573 \cdot \text{Q}^2 \\ & \text{R}^2 = 64,8641 \end{aligned}$$

Модель дает неплохое описание, хотя коэффициент корреляции не очень высок.

Зависимость от углерода линейная, монотонное уменьшение.

Зависимость от кремния квадратичная, минимум в районе 2,17.

Зависимость от фосфора квадратичная, минимум в районе 0,0825.

Зависимость от марганца линейная, монотонное увеличение.

Модель дает неплохое описание, хотя коэффициент корреляции не очень высок.

Зависимость от углерода линейная, монотонное уменьшение.

Зависимость от кремния квадратичная, минимум в районе 2,17.

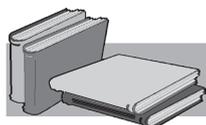
Зависимость от фосфора квадратичная, минимум в районе 0,0825.

Зависимость от марганца линейная, монотонное увеличение.

Зависимость от объема плавки квадратичная, максимум в районе 2750.

В результате проведения научных исследований установлено следующее: определена зависимость между образованием выбросов вредных веществ из плавильных печей и технологическими параметрами плавки; при содержании в сплаве углерода в пределах 3,60-3,62 % увеличивается количество выбросов окислов азота и серы, при этом количество выбросов пыли и окислов углерода незначительно уменьшается; содержание фосфора и серы в сплаве незначительно влияют на количество выбросов в связи с малым интервалом варьирования; во всех моделях прослеживается увеличение количества выбросов при увеличении содержания марганца; для минимизации количества выбросов содержание кремния должно приближаться к верхнему уровню, то есть 2,18-2,20 %, марганца – к нижнему 0,50-0,55 %, содержание углерода 3,4-3,5 %, объем плавки в трехтонной печи должен составлять 2500-2650 кг; разработана математическая модель образования выбросов; построены графики зависимости функций отклика от каждого из независимых параметров.

Построенные регрессионные модели, связывающие количество выбросов вредных веществ в атмосферу из плавильных литейных печей с параметрами процесса плавки, можно применять для расчета вентиляции, реконструкции производства и расчета и согласования предельно допустимых показателей выбросов [5].



ЛИТЕРАТУРА

1. Ващенко К. И., Шумихин В. С. Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок. Уч. пособие. – К. : Вища школа, 1992. – С. 220-221.
2. Шалевская И. А., Гутько Ю. И. Расчет выбросов загрязняющих веществ в литейном производстве // *Металл и литье Украины*. – 2011. – № 5. – С. 22-24.
3. Черный А. А. Математическое моделирование в литейном производстве: Уч. пособие – Пенза: Пенз.гос.ун-т, 2006. – 215 с.
4. Технические и экономические основы литейного производства. Под ред. В. М. Шестопала. М., «Машиностроение», 1974. – С. 48-64.
5. Шалевская И. А. Математическое моделирование образования выбросов вредных веществ от литейных плавильных печей / *Материалы II международной научно-практической конференции-выставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология»*: Тез. докл. – Киев, 2012. – С. 308-309.

Анотація

Шалевська І. А., Гутько Ю. І., Тарасевич М. І., Токарєва О. О.

Прогнозування утворення викидів шкідливих речовин від ливарних плавильних печей

Приведені результати дослідження утворення викидів забруднюючих речовин від ливарних плавильних печей на базі промислових даних. Визначено залежність між утворенням викидів шкідливих речовин та технологічними параметрами плавки, побудовано графіки залежності функцій відгуку від кожного з незалежних параметрів.

Ключові слова

викиди шкідливих речовин, ливарні плавильні печі, регресійні моделі, екологія, лиття

Summary

Shalevska I. A., Gut'ko Yu. I., Tarasevich N. I., Tokareva O. O.

Forecast of polluting air emission from casing melting furnaces

There is shown the results of study of polluting air emission from casting melting furnaces on the base of industrial data. There is determined the dependence of polluting air emission on the technological parameters of melts, and dependence diagrams between response functions and each of independent parameters are built.

Keywords

polluting air emission, casting melting furnaces, regression models, environment protection, casting

Поступила 10.09.14