

## Влияние рециркуляции печных газов на равномерность температурного поля в нагревательных печах

*Рассмотрены результаты математического моделирования тепломассообменных процессов в нагревательной печи с петлеобразной траекторией печных газов. Сделаны выводы о влиянии крупномасштабной внутренней и мелкомасштабной рециркуляции на характер температурного поля и равномерность нагрева металла в таких печах.*

**Ключевые слова:** кратность рециркуляции, моделирование, траектория движения печных газов, температурное поле, равномерность нагрева металла

**В**ведение. Интенсификация теплообменных процессов и повышение производительности нагревательных печей в настоящее время утратили актуальность. В условиях повышающихся цен на энергоносители к современным печам и их тепловой работе предъявляются особые требования: эффективное использование материальных и энергетических ресурсов, то есть приведение удельных расходов ресурсо- и энергопотребления к теоретически обоснованным показателям; получение конечного продукта высокого качества; низкие выбросы вредных веществ в атмосферу и минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Качество тепловой обработки металла в нагревательных печах металлургии выражается, в том числе равномерностью его нагрева.

Рассматривая обеспечение качества нагрева металла в печах в трех аспектах: равномерность нагрева металла по его сечению, по длине печи (стандартность нагрева) и по длине или высоте самого нагреваемого изделия, следует отметить, что решение этой задачи связано с организацией тепломассообменных процессов в тепловом агрегате.

В существующих печах равномерность и стандартность нагрева добиваются с помощью внутренней и внешней рециркуляции печных газов, их реверса, импульсного отопления, раздельной по периодам нагрева подачи топлива, качанием горелок, изменением направления факела компрессорным воздухом, двухстадийным и многостадийным сжиганием топлива и другими способами управления температурным полем. В работах В. И. Губинского, А. В. Кавадерова и Г. П. Иванцова обоснован принцип локальности внешнего теплообмена в печах, согласно которому нагрев садки определяется излучением и конвекцией от газовых объемов, находящихся в непосредственной близости от поверхности. Наибольшие изменения температуры в процессе теплоотдачи наблюдаются именно в пристенных слоях газа. Таким образом, к основному методу достижения равномерности нагрева садки в печах относится рациональное управление движением газов, обеспечивающее перенос теплоты к локальным участкам металла и футеровки [1].

**Организация рециркуляции печных газов.** В докладе Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло «Новая камерная печь с уравнивающей температуру рециркуляцией печных газов», прозвучавшем в 1926 г. на III теплотехническом съезде, рециркуляция печных газов была впервые предложена в качестве инструмента управления температурой в рабочем пространстве печи [2].

В дальнейшем вопросами влияния рециркуляции печных газов на равномерность температурного поля в печи, качество нагрева металла, потребляемую тепловую мощность, а также другие характеристики и параметры, занимались А. У. Пуговкин, Л. А. Неймарк, В. Д. Брук, А. Е. Еринов, Р. Д. Пилипенко и другие ученые [3]. Ими исследовались печи с кратностью рециркуляции печных газов в диапазоне  $K_{\text{рец}} = 2 \dots 10$  и выше, способы достижения такой рециркуляции. При повышении величины кратности рециркуляции ( $< 5 \dots 6$ ) интенсивность выравнивания температуры в печи резко падает с одновременным увеличением потребляемой мощности вентилятора, обеспечивающего возврат продуктов горения в печь. В работе [4] показано, что высокий уровень рециркуляции греющих газов в рабочем пространстве печи может быть получен одним из следующих способов:

– за счет принудительной циркуляции печных газов жаростойкими или охлаждаемыми вентиляторами, встроенными в печь;

– организацией высокого уровня кинетической энергии струй реагентов горения с помощью дополнительных инжектирующих устройств и каналов в горелке и печи;

– получением дополнительной кинетической энергии струй печных газов за счет рециркуляционных каналов в стенах печи;

– с помощью специальных горелочных устройств, создающих высокий уровень импульса потоков воздуха и топлива или струй продуктов сгорания.

Область применения первых трех способов ограничена тепловой стойкостью инжекторов, вентиляторов, дополнительных устройств и наличием сложной конструкции рабочего пространства печи.

Для организации интенсивной внутренней рециркуляции с помощью специальных горелок необходима

разработка конструкции топливосжигающего устройства, создающего необходимый уровень количества движения реагентов горения и их кинетической энергии. В качестве необходимых условий для создания рециркуляции [3] приняты: величина кинетической энергии для движения печных газов с рециркулятором по заданной траектории, близкое расположение горелок и дымовых окон и отсутствие препятствий на траектории движения печных газов (последнее – условно). Наличие металла, находящегося на траектории движения печных газов, может быть компенсировано соответствующим увеличением энергии движения печных газов на величину, достаточную для преодоления этого дополнительного аэродинамического сопротивления.

Близкое расположение горелок и дымовых окон имеется в ряде нагревательных печей металлургии. К ним относятся рекуперативные нагревательные колодцы с верхней и нижней горелкой, регенеративные нагревательные колодцы с отоплением из центра подины, ряд камерных нагревательных и термических печей с дымовыми окнами, расположенными в стенах. Однако в большинстве таких устройств равномерность нагрева металла невелика.

В литературе [5] приведены результаты исследований теплового состояния рабочей камеры нагревательного колодца с верхней боковой горелкой, которые свидетельствуют о том, что горение происходит в основном при прямолинейном движении газов от горелки до противоположной стены. Область высоких температур находится на уровне оси горелки, что усугубляется более высокой степенью черноты газов в этом сечении из-за наличия факела. Также в нагревательных колодцах этого типа наблюдается неравномерность нагрева металла по длине рабочей камеры. Слитки, установленные у противоположной горелки стены, нагреваются быстрее [6].

В рекуперативных нагревательных колодцах с отоплением из центра подины также существенная разница температуры по высоте рабочей камеры. Средний перепад температуры по высоте слитков такого колодца составляет 50 °С и более. В камерных печах для уменьшения неравномерности нагрева садки топливо сжигают с помощью большого количества горелок, которые равномерно располагаются по всем стенам печи, а дым отводят через несколько дымовых окон, рассредоточенных в рабочем пространстве.

*Исследования рециркуляции печных газов.* Схема петлеобразного движения печных газов, разбиение печи на расчетные элементы и потоки масс крупномасштабной и мелкомасштабной рециркуляции приведены в работе [7] и на рис. 1.

На рис. 1 приведены следующие обозначения:  $G$  – массовый расход печных газов, образующихся при сжигании топлива с высокотемпературным воздухом в горелочном устройстве, кг/с;  $\Delta G_{ij}$  – массовый расход локальной рециркуляции печных газов, перетекающих через ось  $y$  из зоны  $i$  в смежную с ней зону  $j = 2_{n-i} + 1$ , кг/с.

В центральной части печи, на границе условного разделения потока печных газов на прямую и обратную траектории движений (ось  $y$ ), имеются локальные турбулентные вихри, вовлекающие в массообменные процессы слои печных газов, движущихся в прямом и обратном направлении. Перемешивание газов в локальных зонах через границу разделения потоков далее называется мелкомасштабной или локальной рециркуляцией. Наличие и степень развития локальных зон циркуляции печных газов может изменять режим движения печных газов в широких пределах: от режима короткого замыкания до развитого декомпенсированного перемешивания с возвратом части массового расхода газа в начальный участок траектории их движения (рециркуляционного режима). Промежуточный режим в работе [5] называется режимом вытеснения с

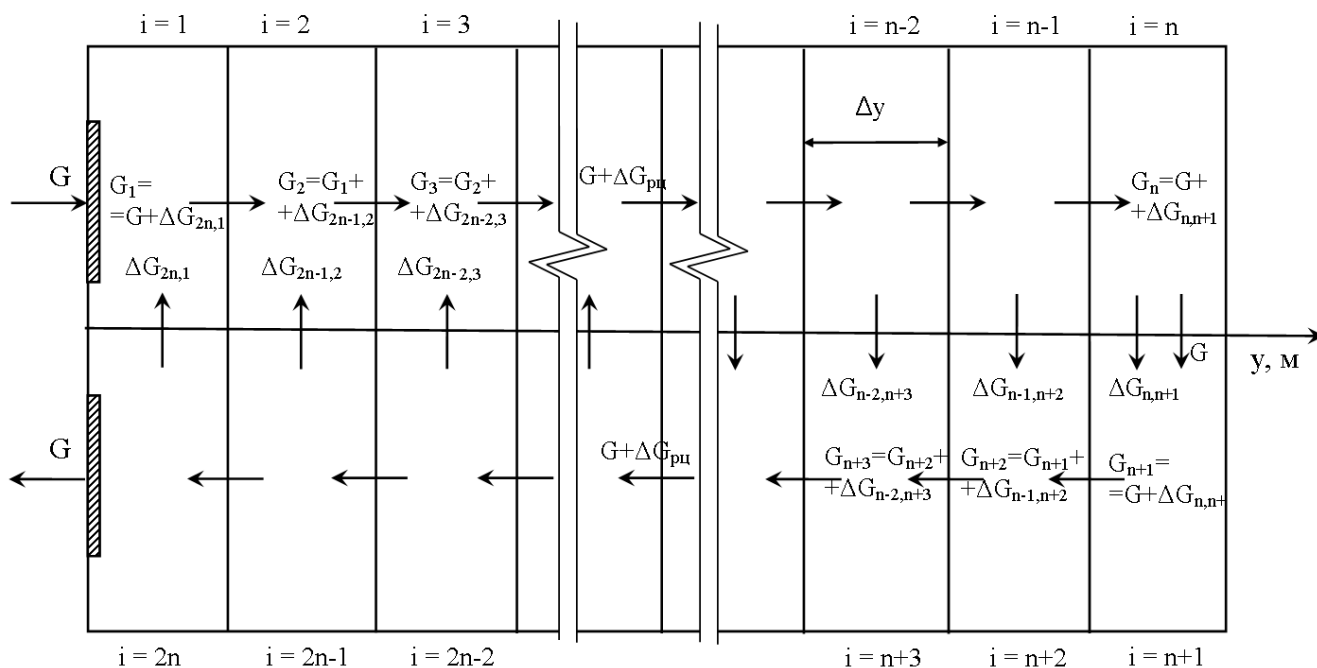


Рис. 1. Разбивка печи на расчетные элементы и схема движения печных газов

компенсированным перемешиванием. Возникновение того или другого движения в реальных условиях зависит от величины энергии струй печных газов.

Для исследования влияния рециркуляции печных газов на формирование температурного поля в рабочем пространстве нагревательной печи с петлеобразной траекторией движения печных газов была разработана математическая модель, основанная на решении уравнения теплового баланса с учетом движения печных газов и их рециркуляции [7].

**Крупномасштабная внутренняя рециркуляция печных газов.** Результаты моделирования температурного поля в нагревательной печи с 16-ю расчетными зонами ( $i = 2n = 16$ ) при различной величине кратности крупномасштабной внутренней рециркуляции печных газов представлены на рис. 2-4. Показано изменение температуры по зонам печи при максимальной тепловой мощности, максимальном и минимальном результирующем тепловом потоке на металл, минимальной тепловой мощности в печи.

Некоторые численные результаты влияния кратности крупномасштабной внутренней рециркуляции печных

газов на температурное поле в печи при максимальной тепловой мощности и минимальном результирующем тепловом потоке на металл приведены в табл. 1-2.

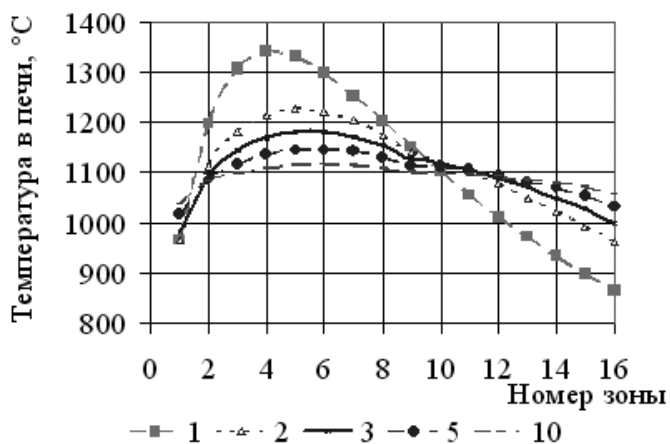


Рис. 2. Распределение температуры по зонам печи при  $M = \max$ ;  $q_{\text{pes}} = \max$

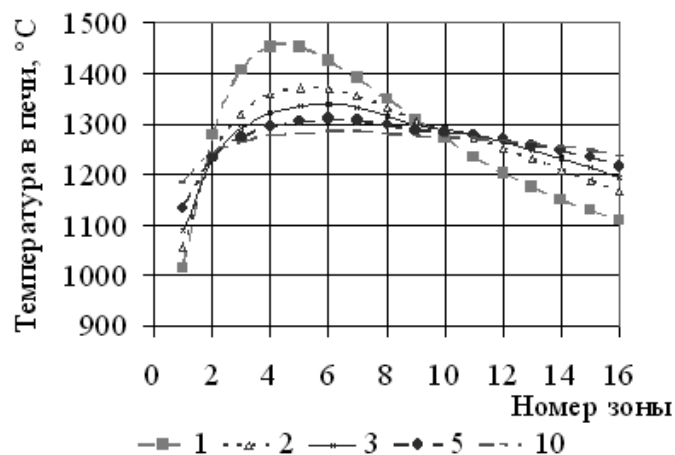


Рис. 3. Распределение температуры по зонам печи при  $M = \max$ ;  $q_{\text{pes}} = \min$

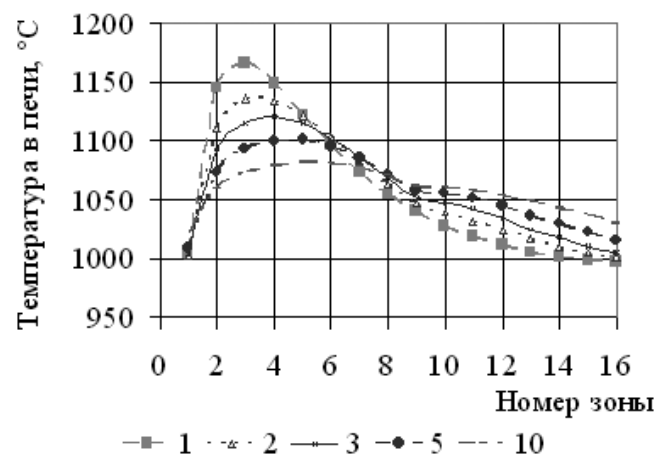


Рис. 4. Распределение температуры по зонам печи при  $M = \min$

Таблица 1

**Значение температуры по зонам печи с различной кратностью крупномасштабной внутренней рециркуляции при максимальной тепловой мощности и минимальном результирующем тепловом потоке на металл**

Номер зоны	Значение кратности рециркуляции							
	1	2	3	4	5	6	7	10
1	1014	1055	1089	1115	1134	1149	1161	1184
2	1277	1236	1232	1232	1234	1237	1239	1243
3	1407	1318	1291	1280	1273	1270	1268	1264
4	1452	1357	1322	1304	1294	1288	1283	1275
5	1451	1372	1336	1317	1305	1297	1292	1281
6	1425	1370	1339	1321	1309	1301	1295	1284
7	1389	1356	1333	1317	1307	1300	1294	1284
8	1348	1332	1317	1306	1299	1293	1289	1280
9	1308	1305	1297	1291	1287	1283	1280	1275
10	1270	1289	1289	1285	1283	1280	1278	1273
11	1235	1273	1278	1278	1277	1275	1274	1270
12	1203	1253	1264	1267	1268	1268	1267	1266
13	1175	1231	1248	1254	1257	1259	1260	1261
14	1150	1210	1232	1242	1247	1250	1252	1255
15	1128	1189	1214	1227	1234	1239	1243	1248
16	1109	1166	1193	1208	1217	1224	1229	1237

**Результаты расчетов равномерности температурного поля в печи с различной кратностью рециркуляции печных газов при максимальной тепловой мощности и минимальном результирующем тепловом потоке на металл**

Параметр	Значение кратности рециркуляции							
	1	2	3	4	5	6	7	10
Максимальный перепад температуры по зонам печи, °C	438	317	250	206	175	152	134	100
Средняя температура в верхних зонах печи (зоны 1-8), °C	1345	1300	1282	1274	1269	1267	1265	1262
Средняя температура в нижних зонах печи (зоны 9-16), °C	1197	1240	1252	1257	1259	1260	1260	1261
Средняя температура в печи, °C	1271	1270	1267	1265	1264	1263	1263	1261

Величину максимального перепада температуры по зонам исследуемой печи можно представить в виде аппроксимирующей функции

$$\Delta t_{q-\max} = A - B \cdot \ln(K_{\text{рец}}). \quad (1)$$

Значение коэффициентов в выражении (1) и величина точности аппроксимации для рассмотренных вариантов расчета приведены в табл. 3, а графическое их представление в работе [3].

Анализ результатов моделирования и аппроксимирующей функции (1) позволил сделать вывод о существенном влиянии кратности крупномасштабной внутренней рециркуляции печных газов в интервале от 1 до 5. Эти результаты подтверждают выводы, сделанные по результатам исследований Института газа НАН Украины [4]. Дальнейшее повышение кратности рециркуляции малоэффективно.

Таблица 3

**Значения коэффициентов и точность аппроксимации функции (1)**

Период нагрева	Коэффициент		Точность аппроксимации, R <sup>2</sup>
	A	B	
Нагрев при M = max; q <sub>рез</sub> = max	333,21	115,51	0,97
Нагрев при M = max; q <sub>рез</sub> = min	433,8	155,72	0,99
Нагрев при M = min	163,0	44,007	0,99

Максимальная неравномерность температурного поля в нагревательной печи (см. рис. 2-4 и табл. 1-2) при любом значении кратности внутренней рециркуляции печных газов наблюдается при нагреве металла с максимальной тепловой мощностью в случае минимального, по условиям теплопередачи, результирующего теплового потока на металл. Интенсификация рециркуляции печных газов позволяет

уменьшить неравномерность температурного поля в печи до допустимого значения. Использование графиков [3] и полученных аппроксимирующих функций (1) позволяет определить требуемое значение кратности крупномасштабной внутренней рециркуляции печных газов в нагревательной печи с петлеобразной траекторией движения печных газов, при которой обеспечивается допустимая по технологии неравномерность температурного поля.

*Мелкомасштабная рециркуляция.* Доля локальной мелкомасштабной рециркуляции печных газов в общей величине кратности рециркуляции может быть выражена изменением величины показателя

степени функции *b* в предложенном [7] законе распределения мелкомасштабной рециркуляции газов (2).

$$\Delta G_{ij} = \begin{cases} 0, & 1 \leq i \leq n/2 \\ k_p(G/n) \cdot (b+1) \cdot |l_i|^b, & n/2 < i \leq n \\ 0, & n < i \leq 3n/2 \\ k_p(G/n) \cdot (b+1) \cdot |l_i|^b, & 3n/2 < i \leq 2n \end{cases} \quad (2)$$

В формуле (2) в соответствии с рис. 1 приняты обозначения:  $l_i = 2y_i / L_{mp}$  – относительная длина мелкомасштабной рециркуляции;  $y_i = \Delta y(l - 1/2)$  – координата центра зоны *i*;  $\Delta y = L_{mp} / n$  – длина зоны *i*; *b* – показатель степени функции распределения;  $k_p = K_{\text{рец}} - 1$  – коэффициент, учитывающий кратность рециркуляции печных газов, ( $k_p \geq 0$ ); *i* и *j* – номера зон входа и выхода потока рециркулирующих газов, связанные соотношением  $j = 2_{n-i} + 1$ .

Значения степени *b* в формуле (2) изменяли от 0,1 до 100. Это отражает случаи от равномерно распределенной локальной рециркуляции по длине печи (в пределе при  $b \rightarrow 0$ ) по всем попарно прилежащим зонам траектории движения печных газов до полного исключения мелкомасштабной рециркуляции (при  $b \rightarrow \infty$ ), когда газы движутся по петлеобразной траектории, не обмениваясь через среднюю линию печи массой и аналогично режиму идеального вытеснения.

Распределение массового расхода рециркулирующих потоков печных газов в парах зон 1 – 2*n*...*n* – (*n*–1) (см. рис. 1) для рассматриваемого случая при общем количестве зон в моделируемой печи  $2n = 16$  приведено в табл. 4. При  $b < 0,5$  доля прикорневой локальной рециркуляции печных газов не превышает 35 %. Значения  $b = 0,5-1,5$  соответствуют естественной степени развития локальных вихревых зон при значениях скорости и вязкости, соответствующих действительным условиям. При величине показателя степени функции распределения потоков массы  $b \geq 10,0$  наблюдается ярко выраженная прикорневая рециркуляция печных газов, при которой основной

Таблица 4

Распределение массового расхода потоков печных газов по парам зон печи в зависимости от показателя степени  $b$  уравнения (2)

Величина параметра $b$ в уравнении (2)	Распределение массового расхода печных газов, рециркулирующих через срединное сечение нагревательной печи в парах зон, %							
	1-16	2-15	3-14	4-13	5-12	6-11	7-10	8-9
0	12,50	12,50	12,5	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
0,1	13,53	13,13	12,44	10,90	10,90	12,44	13,13	13,53
0,2	14,61	13,63	12,26	9,50	9,50	12,26	13,63	14,61
0,5	17,55	14,80	11,37	6,28	6,28	11,37	14,80	17,55
1,0	21,86	15,59	9,41	3,14	3,14	9,41	15,59	21,86
1,5	25,64	15,52	7,27	1,57	1,57	7,27	15,52	25,64
5,0	41,08	8,14	0,78	0	0	0,78	8,14	41,08
10,0	47,94	2,06	0	0	0	0	2,06	47,94
100,0	100,00	0	0	0	0	0	0	100,00
1000,0	100,00	0	0	0	0	0	0	100,00

расход среды проходит через зоны 1-16 и 8-9, прилегающие, соответственно, к стене с горелочным устройством и дымовым окном и к торцевой стене.

Расчеты показывают, что наименьшее значение оценки среднего квадратичного отклонения температуры в зонах печи соответствует случаю, когда наблюдается выраженная крупномасштабная рециркуляция печных газов ( $b = 10 \dots 100$ ). Различия температуры по зонам нагревательной печи с петлеобразной траекторией движения печных газов в этом случае минимально.

Для определения влияния локальных рециркуляционных вихрей на равномерность температурного поля в печи рассматривали распределение температуры в рабочем пространстве моделируемой печи при нагреве металла минимальным результирующим тепловым потоком при максимальной тепловой мощности с различной степенью развития мелкомасштабной рециркуляции. Во всех вариантах расчета кратность рециркуляции печных газов принималась постоянной и равной  $K_{\text{рец}} = 2$ . Результаты расчетов приведены в табл. 5.

**Результаты расчетов равномерности температурного поля в печи при нагреве металла минимальным тепловым потоком с переменной степенью развития локальной мелкомасштабной рециркуляции печных газов**

Параметр	Значение степени $b$ уравнения (2), описывающего интенсивность развития мелкомасштабной рециркуляции в печи					
	0,1	0,2	1,0	5,0	10	100
Максимальная температура в печи, °C	1375	1375	1372	1368	1367	1367
Минимальная температура в печи, °C	1041	1043	1055	1077	1084	1085
Перепад температуры по длине печи, °C	334	332	317	291	283	282
Оценка среднего квадратичного отклонения температуры в печи, °C	87	87	84	80	79	79

Исследования показывают, что локальная мелкомасштабная рециркуляции печных газов также оказывает некоторое влияние на формирование температурного поля в печи [7]. Ухудшение (не более 15 %) равномерности нагрева связано с уменьшением градиента температур перемешивающихся газов и соответственного снижения интенсивности теплопереноса.

Уменьшить мелкомасштабную рециркуляцию печных газов можно, устранив причины образования локальных вихрей при движении печных газов: препятствия на пути движения печных газов (металл, элементы кладки печи, механизмы и т. д.), резкие изменения направления их движения и другие местные сопротивления. Эти мест-

ные сопротивления снижают кинетическую энергию, уменьшают долю кратности крупномасштабной рециркуляции движущихся печных газов, что приводит к ухудшению стандартности нагрева металла.

*Совместное влияние крупномасштабной и мелкомасштабной рециркуляции печных газов на температурное поле в печи.* В печах с петлеобразной траекторией движения печных газов имеет место как крупномасштабная внутренняя, так и мелкомасштабная (локальная) рециркуляция. В зависимости от условий движения печных газов, от наличия препятствий на траектории их движения, доля мелкомасштабной рециркуляции в общей ее величине для случая «естественного развития локальных вихревых зон в печах» [7] может изменяться от 50 (при  $b = 1,5$ ) до 65 % (при  $b = 0,5$ ). Неравномерность температурного поля при одной и той же кратности рециркуляции, но с различным вкладом в ее величину мелко- и крупномасштабной рециркуляций будет неодинакова.

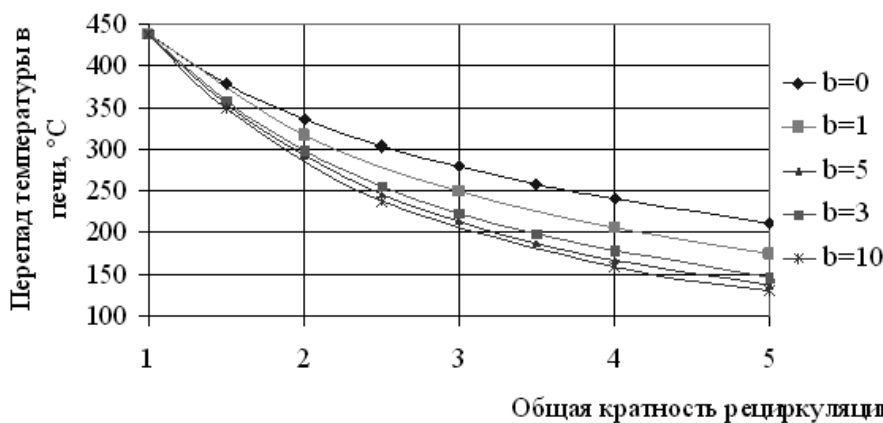
Расчеты показали, что при увеличении доли мелкомасштабной рециркуляции в общей ее величине неравномерность температурного

Таблица 5

поля растет. По мере увеличения кратности рециркуляции печных газов влияние локальных рециркуляционных вихрей увеличивается.

Исследования совместного влияния крупномасштабной внутренней и мелкомасштабной рециркуляции печных газов на температурное поле печи с петлеобразной траекторией движения печных газов обобщены на рис. 5.

Показана динамика снижения максимальной неравномерности температурного поля в печи при увеличении общей кратности рециркуляции с различной долей локальной рециркуляции печных газов. Как видно из рис. 5 при равномерно распределённой локальной



**Рис. 5.** Изменение перепада температуры в печи при  $K_{\text{рец}} = \text{var}$  для различной степени развития локальной рециркуляции печных газов (параметр  $b$ ) в общей рециркуляции печных газов

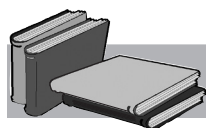
мелкомасштабной рециркуляции печных газов (кривая  $b = 0$ ) увеличение кратности рециркуляции от  $K_{\text{рец}} = 1$  (то есть случая отсутствия рециркуляции) до  $K_{\text{рец}} = 5$  приводит к 2-х кратному снижению неравномерности температурного поля (с 438 до 212 °C). В то же время, в области естественного развития локальных рециркуляционных зон (при  $b = 1$ ) эта неравномерность снижается более чем в 2,5 раза (с 438 до 175 °C). В

случае развития крупномасштабной рециркуляции печных газов ( $b = 5-10$ ) степень выравнивания температуры максимальная. Снижение неравномерности температурного поля по длине траектории движения печных газов в печи составляет более 3,2-3,3 раз.

Дальнейшее повышение кратности крупномасштабной рециркуляции менее эффективно и связано с дополнительными затратами энергии для повышения кинетической энергии печных газов. Увеличение доли мелкомасштабной рециркуляции приводит к снижению темпа выравнивания температурного поля в печи.

## Выводы

Рециркуляция в нагревательных печах с петлеобразной траекторией движения печных газов – эффективный инструмент управления температурным полем в печи. Увеличение внутренней крупномасштабной рециркуляции в печи до  $K_{\text{рец}} = 4...5$  приводит к существен-



## ЛИТЕРАТУРА

1. Губинский В. И. Актуальные задачи реконструкции нагревательных печей / В. И. Губинский // *Металлургическая теплотехника* : сборник научных трудов НМетАУ.– Кн. 1. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – С. 149-156.
2. Труды съезда: 10-18 ноября 1926 г., Москва / Всесоюзный теплотехнический съезд (Москва). – М. : Теплотехн. ин-т им. В. И. Гриневецкого и К. В. Кирша, 1927. – Т. 3, Вып. 1. – 161 с.
3. Еремін А. О. Повышение равномерности температурного поля в топливных печах за счет рециркуляции печных газов / А. О. Еремін // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 4. – С. 91-94.
4. Пилипенко Р. А. Камерные термические печи прецизионного нагрева металла / Р. А. Пилипенко // *Межд. симпоз. «ОТТОМ-2»* : сб. докл. – Харьков: ННЦХФТИ, 2001. – С. 20-25.
5. Губинский В. И. Теория пламенных печей / В. И. Губинский, Лу Чжун-У. – М. : Машиностроение, 1995. – 256 с.
6. Еремін А. О. Разработка конструкции регенеративного нагревательного колодца с торцевым отоплением / А. О. Еремін // *Металлургическая теплотехника*: сб. науч. тр. НМетАУ. – Днепропетровск: Новая идеология. – 2012. – Вып. 4(19). – С. 62-77.
7. Еремін А. О. Организация регламентированного сжигания топлива в нагревательных печах с целью создания равномерного температурного поля / А. О. Еремін // *Металлургическая теплотехника*: сб. науч. тр. НМетАУ. – Днепропетровск: Новая идеология. – 2012. – Вып. 4 (19). – С. 78-83.

### Анотація

Єрємін О. О.

Вплив рециркуляції пічних газів на рівномірність температурного поля в нагрівальних печах

Розглянуто результати математичного моделювання тепло- та масообмінних процесів в нагрівальній печі з петельною траєкторією руху пічних газів. Зроблено висновки про вплив великомасштабної внутрішньої і дрібномасштабної рециркуляції на характер температурного поля і рівномірність нагріву металу в таких печах.

### Ключові слова

кратность рециркуляції, моделювання, траєкторія руху пічних газів, температурне поле, рівномірність нагріву металу

**Summary***Yeromin O.*

The influence of circulating furnace gases on uniformity of temperature field in the heating furnaces

*The paper discusses the results of mathematical modeling of the processes of heat and mass exchange in the heating furnace with loop trajectory furnace gases. Conclusions are drawn about the impact of large-scale and small-scale internal recycle recycling on the temperature field and uniform heating of the metal.*

**Keywords**

*multiplicity of recirculation, simulation, motion trajectory furnace gases, temperature field uniformity of the heating metal*

Поступила 29.10.2014

**Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу  
Вашей продукции или рекламный материал  
о Вашем предприятии**

**Расценки на размещение рекламы**  
(цены приведены в гривнах с учетом налога на рекламу)

<b>2, 3 страницы обложки</b>		<b>страница внутри журнала</b>	
цветная	1400	цветная	1050
черно-белая	700	черно-белая	500
<b>1/2 страницы формата А4</b>		<b>1/2 страницы формата А4</b>	
цветная	900	цветная	800
черно-белая	500	черно-белая	450
<b>1/4 страницы формата А4</b>		<b>1/4 страницы формата А4</b>	
цветная	550	цветная	300
черно-белая	300	черно-белая	200

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %