

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА НАГРЕВА СТЕНОК ПЕЧЕЙ

Сторожева Т.И.

Научный руководитель канд. техн. наук Тинькова С.М.

*Сибирский Федеральный Университет*

В машиностроении, металлургии, нефтехимии и других отраслях промышленности функционируют тысячи промышленных печей для сушки, нагрева и термообработки изделий и материалов.

Однако, печи не всегда работают производительно. Существуют простои печей, работа на холостом ходу, что вызвано технологией процесса, либо организационными причинами, этот факт непосредственно связан с повышенным расходом энергоресурсов.

Мировая практика печестроения выработала типовые энергоэффективные технические решения по конструированию и модернизации промышленных печей, внедрение которых при нынешних ценах на энергоносители и материалы окупается за 1-2 года

Основными факторами экономии энергии в промышленных печах являются:

- 1) малотеплоемкая и низкотеплопроводная футеровка рабочего пространства печи;
- 2) глубокая утилизация теплоты печных газов на выходе из рабочего пространства;
- 3) грамотная эксплуатация печи, включающая оптимизацию тепловой мощности и температурного режима.

Использование всех указанных факторов вполне доступно и реально. Суммарное использование всех трех факторов уменьшает расход энергии в промышленных печах циклического действия в 2-3 раза, в печах непрерывного действия в 1,5 - 2 раза в зависимости от типа печи, ее назначения и степени использования энергосберегающих факторов.

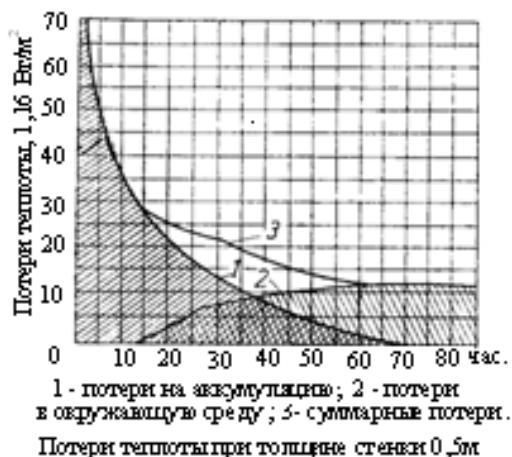
Первый фактор уменьшает потери энергии на разогрев футеровки рабочего пространства в печах периодического действия и потери через футеровку теплопроводностью в печах непрерывного и периодического действия.

Строго говоря, совершенно постоянного режима не существует, во всякой печи есть колебания температуры (например, остывание во время заправки, во время завалки). Но при кратковременных изменениях температуры внутри печи эти колебания сравнительно не глубоко проникают в толщу стен и мало отражаются на тепловых потерях через стену. Существенные изменения теплотерь получают при нагревании холодной стенки до рабочего состояния и, обратно, при остывании ее при колебаниях температуры в периодически действующих печах.

В данной работе рассматривается возможность энергосбережения путем уменьшения потерь теплоты через кладку периодически действующих печей, т.к. это самая большая расходная статья.

Имеющиеся программы позволяют иметь представление о распределении температуры в статике, а при нагреве необходима динамическая картина.

Очень сложными расчетами, пользуясь рядами Фурье и функцией Бесселя, в сороковых годах прошлого века были даны способы, в кото-



рых при помощи составленных графиков можно вычислить распределение температуры в пластине, шаре и цилиндре, в зависимости от разницы температур.

В настоящее время в случае задания сложных граничных условий (например, для цикла нагрев - выдержка - охлаждение) или в случае многослойной футеровки расчеты нагрева и охлаждения выполняются методом конечных разностей.

В этом случае толщина стенки делится на  $n$  элементарных слоев.

Время нагрева также делится на  $k$  элементарных отрезков времени.

Эти величины связаны между собой через коэффициент температуропроводности материалов.

При задании граничных условий температура в любом слое внутри стенки в любой момент времени может быть найдена как полусумма температур соседних слоев в предшествующий момент времени.

В случае многослойной стенки продолжительности элементарных интервалов времени для обоих слоев одинаковы.

Расчет распределения температуры по толщине нагреваемой стенки в динамике довольно сложен, особенно для многослойных стенок.

Для оперативной работы с информацией была составлена программа с использованием электронных таблиц Microsoft Office Excel, что позволило быстро проводить расчеты с различными исходными данными. Пример полученных результатов приведен в таблице.

Δt	час	поверхность	шамот			граница	диатомит					поверхность
		0Δш	1Δ	2Δ	3Δ		1Δ	2Δ	3Δ	4Δ	5Δ	6Δ
0	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1	0,71	199	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	1,42	378	110	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	2,13	557	199	65	20	20	20	20	20	20	20	20
4	2,84	736	311	110	42	38	20	20	20	20	20	20
5	3,55	915	423	177	74	66	29	20	20	20	20	20
6	4,26	1094	546	248	121	107	43	25	20	20	20	20
7	4,97	1273	671	334	178	158	66	31	22	20	20	20
8	5,68	1275	803	424	246	219	95	44	26	21	20	20
9	6,39	1275	850	524	322	288	131	60	33	23	20,6	20
10	7,10	1275	900	586	406	364	174	82	42	27	21,5	20
11	7,81	1275	930	653	475	430	223	108	54	32	23,5	21
12	8,52	1275	964	703	541	493	269	139	70	39	26,3	22

Расчет выполнен для двухслойной стенки, где толщина шамота составляла 0,15м, диатомита 0,3м, за время 8,52 часа, где, начиная с 4,97 часа, температура внутренней поверхности стенки поддерживалась постоянной.

Разработанная программа позволяет вести расчеты при задании граничных условий, как первого, так и второго рода.

По полученным результатам можно судить о динамике нагрева слоев стенки, об изменении температуры поверхностей, когда уже необходимо учитывать потери теплоты в окружающее пространство. Имея распределение температуры во времени, можно рассчитать потери на аккумуляцию теплоты кладкой печи, исследовать варианты с различными материалами и толщинами слоев, что позволит повысить энергоэффективность.