

УДК 621.783.231

М. В. Иванова, М. Д. Казяев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ ДЛЯ НАГРЕВА МЕДНЫХ СЛЯБОВ

Аннотация

В статье рассмотрены результаты полного теплотехнического обследования тепловой работы печи с шагающим подом, отапливаемой природным газом с помощью скоростных горелок, работающих в импульсном режиме.

По проекту печь предназначена нагревать 5-тонные литые слябы из меди и ее сплавов с производительностью 25 т/ч.

После ввода печи в эксплуатацию было проведено экспериментальное исследование ее тепловой работы с измерением температуры слябов и всех необходимых параметров в целях выявления реальной производительности, качества нагрева металла и основных теплотехнических показателей. К моменту проведения исследований Кировский завод ОЦМ еще не освоил производство 5-тонных слябов, поэтому обследование тепловой работы печи было произведено при нагреве слябов меньшей массы ($G_{шт} \approx 3,5$ т). Ниже приведены результаты полного теплотехнического исследования нагрева слябов из меди марки М1.

Ключевые слова: *печь с шагающим подом; природный газ; медные слябы; тепловой баланс; показатели тепловой работы; температурный режим; тепловой режим.*

Abstract

The article discusses the results of a complete thermal inspection of the thermal operation of a walking furnace heated by natural gas using high-speed burners operating in a pulsed mode.

According to the project, the furnace is designed to heat 5-ton cast slabs of copper and its alloys with a capacity of 25 t/h.

After the furnace was put into operation, an experimental study of its thermal work was carried out with the measurement of the temperature of the slabs and all the necessary parameters in order to identify the real productivity, the quality of heating of the metal, and the main thermal indicators. By the time of the research, the Kirov OCM plant had not yet mastered the production of 5-ton slabs. Therefore, an examination of the heat operation of the furnace was carried out by heating slabs of lower mass ($G_{pieces} \approx 3,5$ tons). Below are the results of a complete heat engineering study of heating slabs of copper grade M1.

Key words: *walking beam furnace; natural gas; copper slabs; heat balance; thermal performance; thermal cycle; thermal conditions.*

Конструкция печи с шагающим подом (далее ПШП) подробно описана в [1]. На рисунке 1 приводится продольный разрез печи и ее основные элементы конструкции.

При проведении исследований использовали штатные слябы, среди которых нагревались два, оснащенные термопарами. Размер опытного сляба и места размещения термопар представлены на рисунке 2.

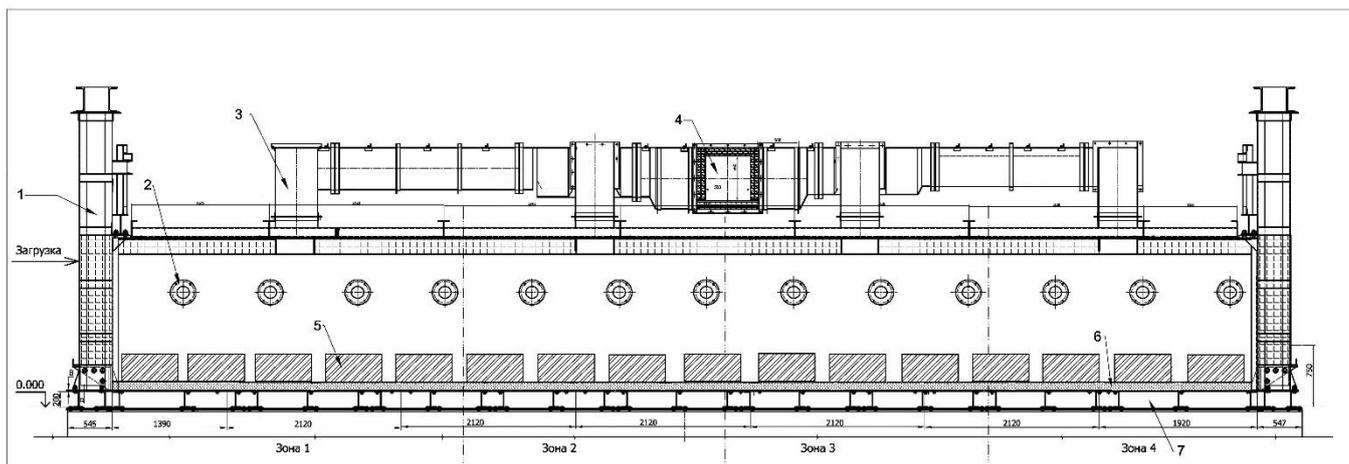


Рис. 1. Продольный разрез печи с шагающим подом:
 1 – заслонка; 2 – горелки; 3 – каналы дымоудаления; 4 – общий сборный канал дымоудаления; 5 – нагреваемые слябы; 6 – под;
 7 – металлоконструкция пода (механизм шагания условно не показан)

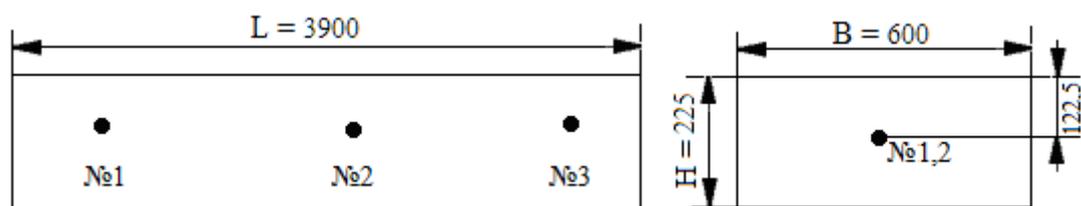


Рис. 2. Размер опытного сляба и места размещения термопар

За время испытаний печи (4 ч. 30 мин.) было нагрето 39930 кг медных слябов, т.е. производительность печи составила всего 8,873 т/ч. Такая низкая производительность печи объясняется малой единичной массой слябов (3500 кг) и тем обстоятельством, что печь работала фактически в камерном режиме, при котором загрузка металла производилась при низкой начальной температуре в зонах печи. Температура печи вместе с металлом постепенно поднималась до заданного значения. Подтверждением этому является температурный режим печи, представленный на рисунке 3, из которого видно, что автоматика четырех виртуальных зон с автономным импульсным регулированием температуры в зонах печи одинаково выдерживает заданный график нагрева.

Из вышесказанного следует отметить, что выбранная схема отопления печи с размещением горелок на боковых стенках и отводом продуктов сгорания в зонах спроектирована в соответствии с техническим заданием.

На рисунке 4 представлен температурный режим нагреваемых опытных слябов, из которого видно, что оба сляба нагревались практически одинаково и к концу нагрева вышли на заданные температуры.

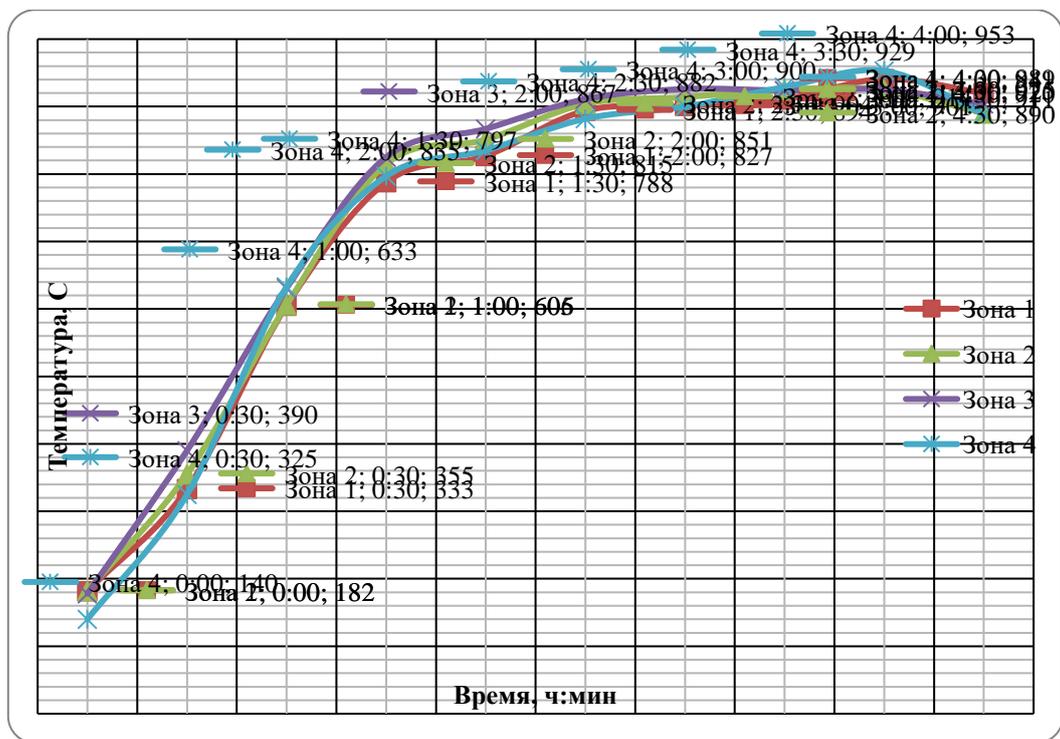


Рис. 3. Температурный режим печи по зонам

За период 4,5 часа печь работала со средним показателями, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Осредненные параметры работы ППП за период нагрева опытной садки слябов из меди

№ п/п	Наименование параметра		Размерность	Величина
1	Масса садки		кг	39930
2	Масса опытного сляба		кг	4712,2
3	Масса остальных слябов		кг	3500
4	Температура печи	начальная	°С	170
		конечная	°С	900
5	Температура слябов	начальная	°С	40
		конечная	°С	890
6	Время нагрева		ч	4,5
7	Расход природного газа		м ³ /ч	414
8	Теплота сгорания газа		кДж/м ³	33990
9	Коэффициент избытка воздуха α			1,14
10	Температура подогрева воздуха		°С	220
11	Температура уходящих из печи продуктов сгорания		°С	644

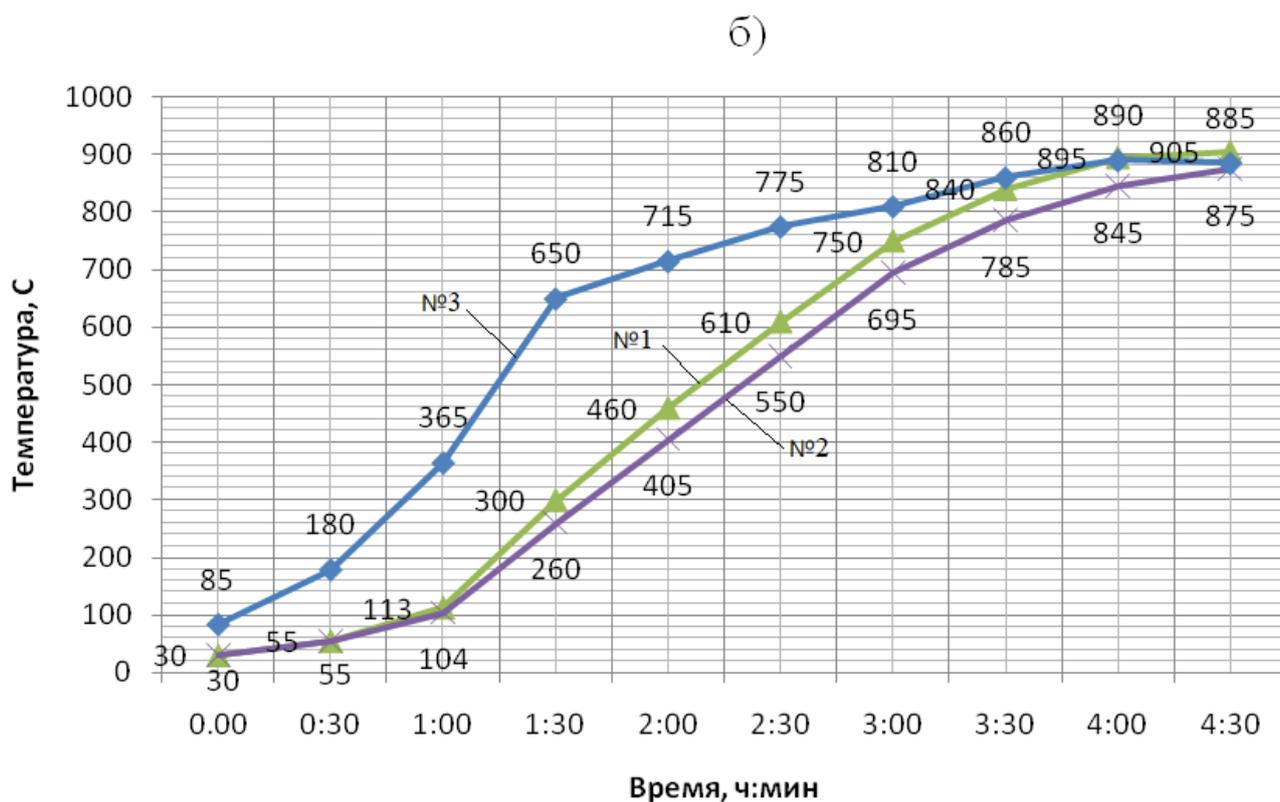
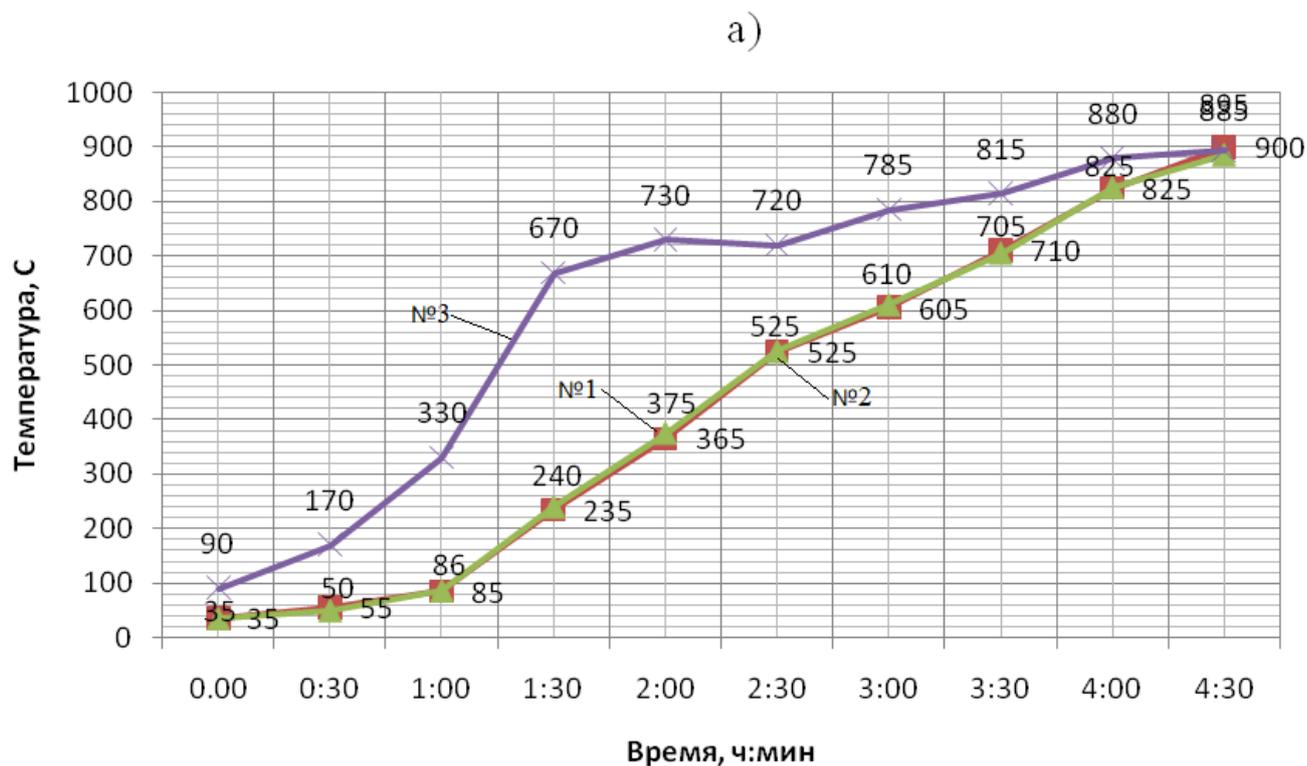


Рис. 4. Изменение температуры слябов в опытном нагреве:
а – сляб №1; *б* – сляб №2 (номера точек измерения см. на рис. 2).

По полученным экспериментальным данным о параметрах тепловой работы печи составлен тепловой баланс, представленный в таблице 2.

Реальный тепловой баланс ПШП

Приход теплоты				Расход			
№ п/п	Статья	кДж	%	№ п/п	Статья	кДж	%
1	Химическая теплота топлива	63155700	92,5	1	Полезно затраченная теплота	14696236	21,5
2	Физическая теплота подогретого воздуха	5097729	7,5	2	Потери теплоты с уходящими газами	17293994	25,4
				3	Потери теплоты теплопроводностью и аккумуляцией тепла кладкой пода и волокнистой футеровкой свода и стен	36263199	53,1
	Итого:	68253429	100			68253429	100

Основные теплотехнические показатели тепловой работы печи:

- суммарный коэффициент полезного действия:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\Delta Q_{\text{м}}}{Q_{\text{прих}}} \cdot 100\% = \frac{14696236}{68253429} \cdot 100\% = 21,5\% ; \quad (1)$$

- топливный коэффициент полезного действия:

$$\eta_{\text{топ}} = \frac{\Delta Q_{\text{м}}}{Q_{\text{x}}} \cdot 100\% = \frac{14696236}{63155700} \cdot 100\% = 23,3\% ; \quad (2)$$

- коэффициент использования тепла:

$$\eta_{\text{и.т.}} = \frac{\Delta Q_{\text{м}} + Q_5 + Q_6}{Q_{\text{прих}}} \cdot 100\% = 21,5 + 53,1 = 74,6\% ; \quad (3)$$

- удельный расход условного топлива:

$$v = \frac{B \cdot \tau \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}}{(Q_{\text{н}}^{\text{п}})_{\text{усл.т.}} \cdot G_{\text{м}}} = \frac{63155700}{29310 \cdot 39,930} = 54 \text{ кг у.т/т.} \quad (4)$$

Полученные теплотехнические показатели печи являются удовлетворительными для камерных печей с изменяющейся температурой.

В настоящее время заводом освоено производство медных слябов штучной массой $g_{\text{шт}} = 4,67$ т, при загрузке садки массой $G_{\text{сад}} = 84000$ кг нагрев производится за те же 4,5 ч.

Таким образом, производительность печи поднялась до 18,67 т/ч. При этом удельный расход газа на 1 тонну нагретых медных слябов по данным завода

составляет $v_{y0}^2 = 28 \text{ м}^3/\text{т}$. При теплоте сгорания газа $33990 \text{ кДж}/\text{м}^3$ топливный эквивалент равен:

$$\mathcal{E}_m = \frac{Q_n^p}{(Q_n^p)_{\text{усл.м.}}} = \frac{33990}{29310} = 1,15967 \text{ кг у.т}/\text{м}^3, \quad (5)$$

а удельный расход условного топлива:

$$v_{y.m} = \mathcal{E}_m \cdot v_{y0}^2 = 1,15967 \cdot 28 = 32,47 \text{ кг у.т}/\text{т}. \quad (6)$$

Увеличение штучной массы медных слябов с $g'_{\text{шт}} = 3,5 \text{ т}$ до $g''_{\text{шт}} = 4,7 \text{ т}$ позволило поднять производительность печи (при том же количестве слябов в садке и том же времени ее нагрева) с $P'_m = 8,87 \text{ т}/\text{ч}$ до $P''_m = 18,67 \text{ т}/\text{ч}$, т.е на 118%.

При этом удельный расход условного топлива снизился с $v' = 54 \text{ кг у.т}/\text{т}$ до $v'' = 32,5 \text{ кг у.т}/\text{т}$, т.е. на 39,8%.

Значительно меньшее снижение удельного расхода топлива по сравнению с резким увеличением производительности объясняется превалирующим увеличением абсолютного количества газа, затраченного на нагрев более тяжелой садки при том же времени ее нагрева.

Одинаковое в обоих случаях приращение энтальпии нагреваемого металла и равное

$$\Delta i_m = \bar{C} \cdot \Delta t = 0,433 \cdot (890 - 40) = 368 \text{ кДж}/\text{кг}, \quad (7)$$

позволяет определить топливный КПД печи в последнем случае

$$\eta_m'' = \frac{\Delta i_m}{29,31 \cdot v''} \cdot 100\% = \frac{368 \cdot 100}{29,31 \cdot 32,5} \cdot 100\% = 38,6\%, \quad (8)$$

т.е наблюдается улучшение этого теплотехнического показателя на

$$\Delta \eta_m = \frac{\eta_m'' - \eta_m'}{\eta_m'} \cdot 100\% = \frac{38,6 - 23,3}{23,3} \cdot 100\% = 65,7\%. \quad (9)$$

В результате исследования реальной тепловой работы ПШП можно сделать однозначный вывод о том, что печь, сконструированная с применением современных топливосжигающих устройств, футеровочных материалов и системы автоматического управления нагревом металла, обеспечивает устойчивый рост производительности с увеличением штучной массы слябов и снижение удельного расхода топлива.

При проектной штучной массе сляба 5 т печь должна обеспечивать расчетные показатели тепловой работы:

- производительность $P_m = 25 \text{ т}/\text{ч}$;
- удельный расход условного топлива $v = 29 \text{ кг у.т}/\text{т}$.

Список использованных источников

1. Проходная печь с шагающим подом для нагрева слитков из меди и ее сплавов / Спитченко Д.И., Вохмяков А.М., Казяев М.Д. [и др.] // Цветные металлы. 2014. №10. С. 83-87.

2. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Зобин Б.Ф., Казяев М.Д., Китаев Б.И., Лисиенко В.Г., Телегин А.С., Ярошенко Ю.Г. Учебное пособие для студентов вузов, Изд. 2-е. М.: Металлургия, 1982. 360 с.