

5. Сеченов П.А. Постановка задачи исследования диффузионного перехода через границу шлак-металл в колонном реакторе и алгоритм ее решения / П.А. Сеченов, В.П. Цымбал, А.А. Оленников // Программные продукты и системы. – 2016. № 4. – С. 156-164.

УДК 669

**А. С. Сивков, С. И. Чибизова**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС»», г. Москва, Россия

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ ИЗ МЕЛА. ЭКОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

**Аннотация.** Работа выполнена с целью совершенствования тепловой работы вращающейся печи для реализации технологии производства металлургической извести из мела. Проведены эксперименты на лабораторных печах с целью выявления оптимальной температуры подогрева сырья перед обжигом. Определены оптимальные значения температуры, а также подобран подогреватель для внедрения технологии в производство. Данная технология позволяет использовать запасы мела АО «ЛГМК» и сократить операционные затраты при производстве стали на АО «ОЭМК». Рассмотрен вопрос газоочистки отходящих газов вращающейся печи.

**Ключевые слова:** известь, известняк, мел, подогреватель, вращающаяся печь, обжиг, окатыши, сталь, ОЭМК, ЛГМК.

**Abstract.** The work was carried out with the aim of improving the thermal operation of the rotary kiln for the implementation of the technology for the production of metallurgical lime from chalk. Experiments were carried out on laboratory furnaces in order to identify the optimal temperature for heating the raw material before firing. Optimal temperature values have been determined, and a heater has been selected for introducing the technology into production. This technology makes it possible to use the chalk reserves of JSC LGOK and reduce operating costs in steel production at JSC OEMK. The issue of gas cleaning of rotary kiln off-gases is considered.

**Key words:** lime, limestone, chalk, preheater, rotary kiln, roasting, pellets, steel, OEMK, LGOK.

Известь – материал, применяемый в большинстве существующих отраслей, будь то промышленность или пищевая сфера. В качестве сырья для производства извести используются горные породы, такие как известняк, мел или доломиты. В металлургии известь используется при производстве окатышей, в качестве добавки для увеличения прочностных свойств окатышей, а также в качестве флюса, удаляющий лишнюю влагу и ненужные вещества из сплава, при производстве стали в электропечах.

Для производства извести используют обжиговые печи высокотемпературной обработки.

Обжиг известняка происходит в шахтных или вращающихся печах. Мел является мягкой породой и при обжиге его в шахтных печах, куски сырья

разрушаются и ухудшают тягу. Именно по этой причине мел можно обжигать только во вращающихся печах (рис. 1).

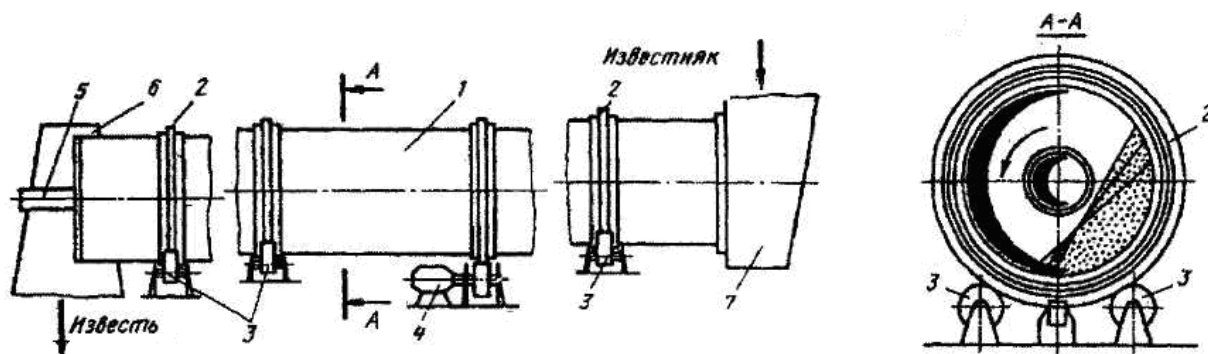


Рис. 1. Вращающаяся печь обжига извести

При использовании такого сырья как мел при производстве извести, необходимо знать его прочностные свойства после подогрева. Оптимальная температура подогрева мела, характеризующаяся наибольшей прочностью, определялась в ходе проведения опытов. Подогрев мела до определенной температуры проводился в лабораторной печи «СНОЛ 12/13». Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение прочностных свойств мела после подогрева

Температура, °С	Размер фракции, мм	Нагрузка, Н	Предел прочности, МПа
750	20	300	0,63
	30	1000	1,32
	40	2400	1,50
800	20	650	1,44
	30	1200	1,59
	40	3700	2,43
850	20	700	1,73
	30	1300	1,82
	40	5300	3,40

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимальное значение прочности мела достигается у образцов фракцией 30-40 мм, нагретых до температуры 850 °С. Подогретый до этой температуры мел можно подавать на обжиг во вращающиеся печи для производства извести.

В шахтном противоточном теплообменном устройстве (рис. 2), применяемом на ОЭМК, материал проходит плотным слоем через полость аппарата цилиндрической формы, обогреваясь со всех сторон дымовыми газами. В плотном слое расчёт теплообмена представляет собой сложную задачу, так как плотный слой состоит из кусков различной формы и размеров, что приводит к существенно различным теплофизическим свойствам.

При использовании мела в качестве сырья для производства извести, сырьё в установленном подогревателе будет рассыпаться и тем самым при обжиге прилипать к стенкам печи.

Учитывая все эти обстоятельства, подогрев мела в применяемых на ОЭМК подогревателях невозможен.

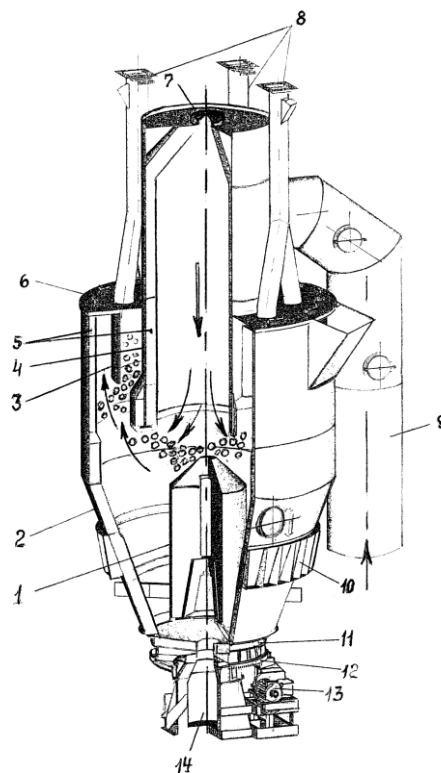


Рис. 2. Конструкция установленного подогревателя

В предлагаемом к применению подогревателе (рис. 3) установлены теплообменные устройства в форме барабана, каждое из которых имеет цепную лопасть. Барабаны вращаются в слое подогреваемого сырья в противоположных друг к другу направлениях.

Вращающиеся лопасти захватывают сырьё и продвигают его в противоположном дымовым газам направлении, при этом создаётся плотный слой в движении. Отличие движущегося слоя от неподвижного заключается в том, что при движении происходит разрыхление слоя и под силой тяжести сырьё опускается вниз в следующую зону подогревателя. Повышение порозности плотного слоя приводит к тому, что происходит относительное перемещение частиц в вертикальном и горизонтальном направлении. Значение порозности колеблется в радиальном направлении, в основном ядре потока это значение меньше, чем вблизи стенок аппарата. Это в свою очередь влечёт увеличение локального значения скорости и сплошной фазы возле стенок. Частицы сырья, притормаживаемые стенками агрегата, имеют неравномерное распределение скорости движения, но при этом она не равна нулю. При этом частицы совершают вращательные движения, что приводит к отличию их внешнего теплообмена от теплообмена неподвижной частицы плотного слоя. Основные отличия в численном значении среднего коэффициента теплоотдачи и в

равномерной термообработке частиц. В движущемся слое уменьшается количество застойных зон между соседними частицами. При смешивании подогреваемого сырья значительно улучшается процесс теплообмена за счёт более равномерной теплообработки сырья ввиду его вращения.

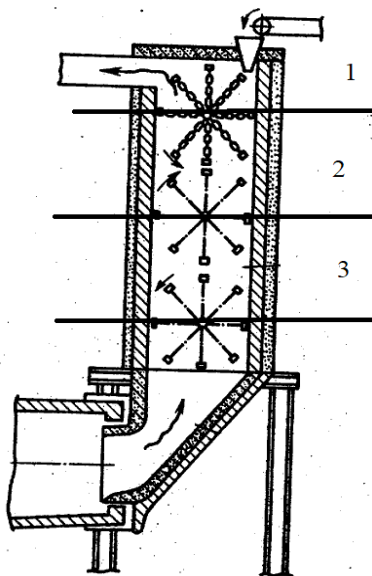


Рис. 3. Конструкция предлагаемого подогревателя

Сравнение подогревателей приведено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение подогревателей сырья

Вид подогревателя	Высота подогревателя, м	Температура сырья после подогревателя, °С	Температура газа перед подогревателем, °С	Применяемое сырье
Установленный	5,425	810	1050	Известняк
Предлагаемый	4,931	850	1050	Мел, известняк

Использование предлагаемого подогревателя сырья приводит к более эффективной тепловой работе вращающейся печи, а также к снижению расхода природного газа.

Для улавливания, очистки и удаления отходящих газов, образующихся при работе вращающейся печи, предусматривается газоочистка в электрофильтрах ЭГТ 2-4-2,5-60, обеспечивающих очистку газов от пыли до требуемых норм (20 мг/м³). Общее количество газов, выбрасываемых в атмосферу из дымовой трубы, не превышает 320 тыс. м³/ч.

Производственное водоснабжение на заводе предусматривается по замкнутой схеме с организацией оборотных циклов. При этом свежая вода будет использоваться только для их подпитки. В составе оборотных циклов предусмотрены очистные сооружения.

Очищенная вода возвращается в оборотный цикл водоснабжения. Аналогично, после очистки возвращаются в оборотный цикл ливневые стоки.

## Список использованных источников

1. Описание технологии цеха. Технологическая инструкция. ЦОИ ОЭМК. ТИ 00186573. – 46 – ОИ – 79 – 2001. ЦОИ ОЭМК.
2. Производство извести. Технологическая инструкция. ТИ 00187895. – 46 – ОИ – 81 – 2000. ЦОИ ОЭМК.
3. Предварительный нагрев известняка в шахтном противоточном подогревателе карбонатного сырья. Технологическая инструкция. ТИ 04–402–2004, СНПП «Известа».
4. Шахтный подогреватель кускового материала: пат. F27B 1/00/ Зуев В.И. Правообладатель Общество с ограниченной ответственностью Внедренческое производственное предприятие «Известа». – № 2 568 806 С1; заявление 11.06.2014; опубликовано 20.11.2015.
5. Технический отчёт по теплотехническим испытаниям вращающейся печи цеха обжига извести, ТТЛ ОЭМК.

УДК 621.184

**К. А. Симбирцев, К. Э. Аронсон, Н. В. Желонкин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С НЕРЕГУЛЯРНЫМ ТРУБНЫМ ПУЧКОМ ИЗ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ТРУБОК

**Аннотация.** Проведены исследования теплообменного аппарата с нерегулярным трубным пучком из профилированных трубок и серийных горизонтальных кожухотрубных подогревателей. Разработана схема измерений для определения температуры, давления и расхода теплоносителей. Для оценки эффективности профилированных поверхностей применены относительные коэффициенты гидравлического сопротивления и теплоотдачи. Разработана методика для определения показателей эффективности. Определены и проанализированы такие показатели как, фактический и расчетный коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, тепловая производительность. Получены сравнительные характеристики: расчетного и экспериментального гидравлического сопротивления, тепловой эффективности и тепловой производительности подогревателей. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений показателей эффективности подогревателей. Сведены тепловые и материальные балансы по нагреваемому и греющему теплоносителю. Определены среднеквадратичные относительные погрешности определения основных величин. Получено, что теплообменник из профилированных трубок имеет в 3,3-4,2 раза больший коэффициент теплопередачи, чем серийный подогреватель.

**Ключевые слова:** Теплообменник, интенсификация, профилированная трубка, эффективность, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, трубный пучок.

**Abstract.** Research has been carried out on a heat exchanger with an irregular tube bundle of profiled tubes and serial horizontal shell-and-tube heaters. A measurement scheme has been