

Available at: \www/URL: [http://www.ifoam.org/about\\_ifoam/standards/index.html](http://www.ifoam.org/about_ifoam/standards/index.html). — 18.11.2014.

6. Правила для виробників сертифікованої органічної продукції [Електронний ресурс] / Федерація органічного руху України. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.organic.com.ua/uk/homepage/2010-01-26-13-44-34>
7. The World of Organic Agriculture 2013: Key Indicators and Leading Countries [Electronic resource] / FiBL & IFOAM 2013. — Available at: \www/URL: <http://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2013/web-fibl-ifoam-2013-25-34.pdf>
8. Janssen, M. Product labelling in the market for organic food: Consumer preferences and willingness-to-pay for different organic certification logos [Text] / M. Janssen, U. Hamm // Food Quality and Preference. — 2012. — Vol. 25, № 1. — P. 9–22. doi:10.1016/j.foodqual.2011.12.004
9. Заворітня, Г. Як виконати угоду з ЄС? Технічне регулювання та стандартизація. Інфографіка [Електронний ресурс] / Г. Заворітня, Д. Луценко, Л. Акуленко // Європейська правда. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.eurointegration.com.ua/articles/2014/07/7/7023953>
10. Amarjit, S. The global market for organic food & drink [Text] / Sahota Amarjit // The World of Organic Agriculture, Statistics and Emerging Trends. — 2009. — P. 59–64.
11. Raynolds, L. T. The Globalization of Organic Agro-Food Networks [Text] / L. T. Raynolds // World Development. — 2004. — Vol. 32, № 5. — P. 725–743. doi:10.1016/j.worlddev.2003.11.008
12. Popescu, A. Considerations regarding the development of organic agriculture in the world, The EU-27 and Romania [Text] / A. Popescu, C. Pop // Scientific Papers. Series «Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development». — 2013. — Vol. 13, Issue 2. — P. 323–330.
13. Пиндус, В. Сьогодні [Електронний ресурс] / Василь Пиндус // Міжнародна Громадська Асоціація «БІОЛан Україна». — Режим доступу: \www/URL: <http://www.biolan.org.ua/uk/biolan-ukraine/today>

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В УКРАИНЕ

В статье по результатам проведенного социологического исследования и анализа нормативно-технического обеспечения выделена проблематика производства органической продукции в Украине. Описаны тенденции и особенности развития органического производства сельскохозяйственной продукции в Украине и в Европе, предложен ряд мер государственной политики по формированию органического ведения сельскохозяйственной деятельности в Украине.

**Ключевые слова:** органическое производство, сертификация органической продукции, система управления органическим производством, маркировка.

*Бубела Тетяна Зіновіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: [paholuk@ukr.net](mailto:paholuk@ukr.net).*

*Воробець Ольга Володимирівна, аспірант, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: [worobetsola@gmail.com](mailto:worobetsola@gmail.com).*

*Бубела Татьяна Зиновьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, Национальный университет «Львовская политехника», Украина. Воробець Ольга Владимировна, аспирант, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.*

*Bubela Tatiana, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, e-mail: [paholuk@ukr.net](mailto:paholuk@ukr.net).*

*Vorobets Olha, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, e-mail: [worobetsola@gmail.com](mailto:worobetsola@gmail.com).*

УДК 66.041.53.666.92

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.34787

**Питак И. В.,  
Шалорев П. В.,  
Шестопапов А. В.,  
Шалорев В. П.**

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

Представлен анализ шахтных печей для производства извести. Выявлены недостатки работы современных печей при обжиге извести полидисперсного состава. Предложена конструкция пересытной печи с повышенной эффективностью, которая обеспечивает повышение производительности печи на 15 %, утилизацию отходов карбонатного сырья, снижение расхода тепла на 20–28 %. В экспериментальных исследованиях были установлены кинетические процессы обжига. Приведены данные эксплуатации печи с рекомендуемыми конструктивными изменениями.

**Ключевые слова:** известь, обжиг известняка, шахтная печь, карбонат кальция, топочные газы.

### 1. Введение

Для ряда технологических процессов, например, при производстве высокодисперсных гидроксида (ВГОК) и оксида (ВОК) и карбоната кальция (химически осажденный мел) (ХОМ), а также хлорной извести (ХИ) и в производстве сахара необходимо использовать известь с содержанием  $\text{CaO}_{\text{общ}}$  не менее 96 %, при этом содержание  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  должно быть более 90 %, а кроме того в продукте должны быть минимальные примеси  $\text{MgO}$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$ , н. р.  $\text{HCl}$  [1].

В настоящей статье рассмотрена весьма актуальная задача о ресурсо- и энергосбережении при производстве

обоженной высокоактивной извести в шахтных печах с использованием в качестве топлива природного газа. Как известно, основные исследования при решении этой задачи преимущественно направлены на усовершенствование и модернизацию конструкций шахтных печей с целью обеспечения возможности использования в печах сырья полидисперсного состава греющей и охлаждающей среды по поперечному сечению шахты; минерализации коэффициента расхода воздуха на сжигание топлива; создание зоны в печи адиабатической выдержки обжигаемого материала. В связи с этим обоснование конструктивных и технологических решений, обеспечивающих достижение указанных показателей является актуальной задачей.

## 2. Анализ литературы и постановка проблемы

Получение извести для указанных производств осуществляется в шахтных печах цилиндрического типа с прямым профилем футеровки, производительностью от 20 до 50 т/сут., диаметром шахты от 2 до 3 м и высотой 6–8 диаметров печи [2]. В качестве топлива используется только природный газ, что обеспечивает чистоту продукта обжига. Кроме того в шахтную печь подается известняк с фракционным составом 60 ÷ 80 мм, что обеспечивает разрежение в верхней части шахты 200 даПа, в средней части 100 даПа, в нижней части шахты 40 даПа [2]. Тем не менее и в этих печах при использовании балочных и многосопловых горелок, а также кернов [3, 4] наблюдаются неблагоприятные условия смещения газа и воздуха, о чем свидетельствует коэффициент избытка по кислороду  $\alpha = 1,2 \div 1,35$ . Выходящие из зоны подогрева печные газы содержат 20–22 %  $\text{CO}_2$  и около 6 %  $\text{O}_2$ . Средняя температура газов в зоне обжига 1200–1250 °С. Энергозатраты на производство 1 т продукции составляют  $4000 \pm 300$  кДж/кг.

В результате продукт обжига в указанных печах содержит  $\text{CaO}_{\text{общ}} \approx 92\text{--}93\%$ ,  $\text{CaO}_{\text{акт}} \approx 80\text{--}85\%$ , потери при прокаливании (ПППМ)  $\leq 10\%$ . Чистота продукта достигает не только за счет использования газообразного топлива, но и за счет грохочения известняка с выделением фракции 60–80 мм, а также обогащение известняков с использованием фотоэлектронного сепаратора [3, 4]. Это приводит к тому, что в отвал идут фракции менее 60 мм до 35 % от массы известняка и фракции более 80 мм до 20 %. Таким образом, коэффициент расхода известняка добытого на карьере для производства 1 т продукта достигает  $2 \div 2,1$  т/т. Анализ химического состава фракции известняков Каракубского и Комсомольского месторождений в интервале более 20 мм и менее 60 мм представлены в работах [5, 6] показал, что фракция 20–60 мм содержит %<sub>масс.</sub>:  $\text{CaCO}_3 - 97,2\text{--}98,5$ ,  $\text{MgCO}_3 - 0,4$ ,  $\text{SiO}_2 - 0,1$ , н. р. в  $\text{HCl} - 0,04$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3 - 0,5$ , влага  $- 0,5$ , тяж. Мет — следы. Таким образом, как следует из [7, 8] по содержанию %<sub>масс.</sub>:  $\text{CaCO}_3 - 97,85$ ,  $\text{MgCO}_3 - 0,4$ , содержание н. р. в  $\text{HCl} - 0,4$ , содержанию суммы полуторных оксидов железа характеристики вышеуказанных отсевов фракций 20–60 мм, по химическому составу практически идентичны и отвечают требованиям к известнякам, предназначенных для получения извести, применяемой для производства ВГОК, активного оксида кальция (ВОК) и химически осажденного мела (ХМ). Количество полученной фракции 20–60 мм достаточно чтобы обеспечить производство ВГОК ~ 35–40 тыс. т/год. Однако обжиг материала полидисперсного состава фракцией 20–60 мм в существующих шахтных печах практически не отработан и требует значительных энергозатрат из-за увеличения насыпной плотности обжигаемого слоя в печи и уменьшения его пористости, как показано в [9] приводит к достаточно неравномерному распределению газов по поперечному сечению печи, более высокому сопротивлению слоев и необходимости повышения избытка кислорода до 1,35–1,45.

В работе [5] авторами данной статьи была предложена концепция для термической обработки полидисперсных пород известняка с регулируемой температурой теплоносителя. Согласно этой концепции печь должна ха-

рактеризоваться следующими особенностями: сжигание топлива должно осуществляться вне слоя материала с получением продукта горения заданной температуры для обеспечения равномерного распределения теплоносителя и снижения аэродинамического сопротивления, движение газов в зоне обжига должно происходить в перпендикулярном направлении по отношению к опускающемуся материалу. В указанных работах экспериментально показана возможность реализации положений концепции, описана конструкция печи и установлена возможность получения извести, отвечающей требованиям для указанных производств [6].

Однако, для того чтобы определить конфигурацию шахты печи, соотношение основных размеров шахты и оптимальную технологическую обвязку печного агрегата, что необходимо для выполнения проектных работ и конструктивных расчетов, необходимы дополнительные оценки конструктивных особенностей шахтной печи с определением соотношений ее рациональных размеров.

## 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является нахождение и координация известной информации и данных, включая собственные исследования, необходимые для конструирования шахты печи, проведение расчетов процесса и запуска новой установки при гарантии ее экономичности и качества продукции.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- создание и анализ процесса в демонстрационной установке шахтной печи, в которой реализуется концепция тепловой обработки известняка полидисперсного состава, освещается в работах [5, 6];
- оценка условий движения твердого материала и теплоносителя в шахте печи, времени необходимого для диссоциации известняка на 99 % и условий равномерного распределения теплоносителя по поперечному сечению движущегося слоя;
- определение рациональных конструктивных размеров шахты печи в зависимости от соотношения между диаметром горячей зоны и размеров кускового известняка с учетом условий, отмеченных в предыдущем пункте;
- подтверждение эффективности рекомендуемых конструктивных изменений шахты печи для достижения поставленной цели.

## 4. Результаты исследований по оценке процесса обжига известняка в модернизированной известково-обжигательной печи

В данной статье приводятся экспериментальные результаты по процессу обжига известняка Каракубского месторождения фракции 20–60 мм в экспериментальной шахтной печи и определение рациональных конструктивных соотношений печи.

На рис. 1 приведена принципиальная схема обжигового агрегата. Как видно из рис. 1 агрегат имеет загрузочные и разгрузочные бункеры (на схеме не показано), металлический жесткий корпус печи 5, футерованный огнеупорным кирпичом 2, штуцера для подачи и отвода воздуха в охлаждаемую зону печи, устройство для

загрузки известняка 10 и выгрузки извести 8, штуцера для отвода газов сверху печи, фурменные проемы 6, с газовыми горелками 7, установленные по высоте шахты термодарами 11. Термодары на рис. 1 пронумерованы от 1–7. Жесткий корпус печи имеет теплоизоляцию 3, которая помещена в мягкий корпус печи 4. Шахта печи 1 имеет конфигурацию последовательно соединенных цилиндров через конусообразные переходы.

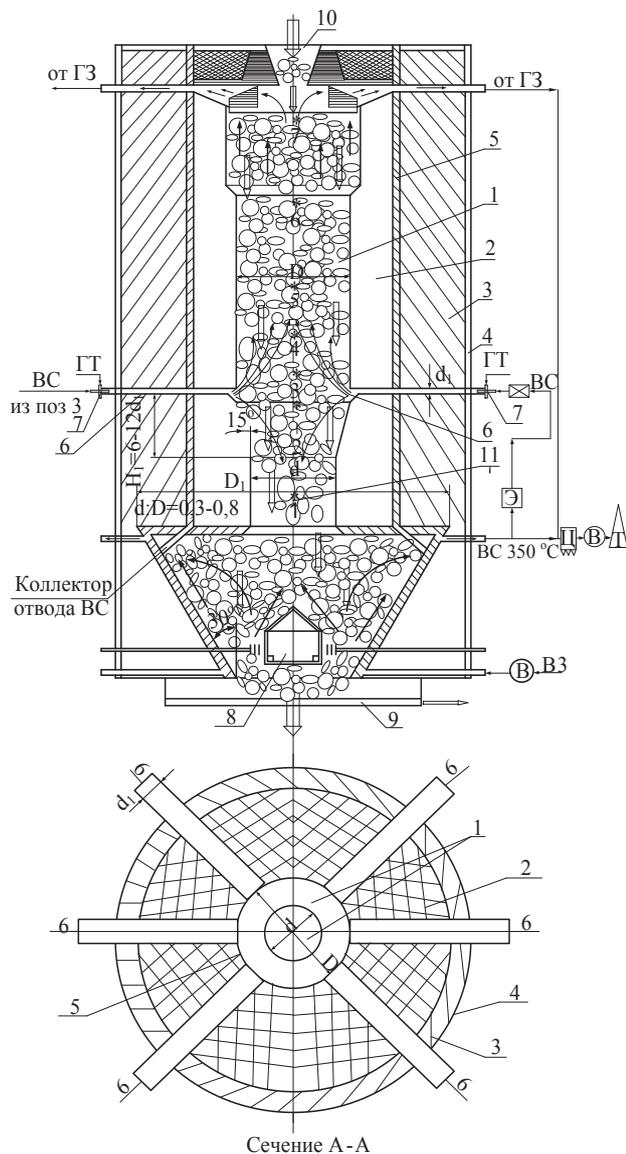


Рис. 1. Шахтная пересыпная печь.

1 — рабочая камера печи; 2 — кладка из огнеупорного кирпича; 3 — теплоизоляция печи; 4 — корпус теплоизоляции; 5 — жесткий корпус печи; 6 — фурмы; 7 — горелки для стекания газообразного топлива; 8 — валковый выгрузатель; 9 — отвод выгружаемого материала; 10 — устройство для загрузки нового известняка

Обозначения на рис. 1: \* — точки замера температур газового потока; ОТГЗ — отвод из печи топочных газов; ВС — газо-воздушная смесь из зоны охлаждения продукта (содержание  $O_2$  не менее 19 % масс.); Э — эксгаузер (высокотемпературный насос); ГТ — газообразное топливо; В — вентилятор; Ц — циклон; Т — вытяжная труба;  $\Rightarrow$  — направление движения твердого материала;  $\rightarrow$  — направление движения газов

Во всех типах печей независимо от конструктивного оформления различают три основных зоны: зону подогрева, зону обжига и зону охлаждения. На равномерное распределение скоростей газового потока по

сечению шахты оказывают влияние рабочие фракции известняка и характер движения материала в цилиндрической части печи. Наилучшим вариантом характера (режима) движения материала является вариант, когда средние вертикальные скорости  $\bar{V}_v$  крупных кусков (0,04–0,06 м); мелких кусков (0,02–0,03 м)  $\bar{V}_w$  в объеме и мелких кусков в пристеночной области равны, то есть  $\bar{V}_v = \bar{V}_w$ . В работах [4, 7] проведено численное моделирование течения сыпучего материала в реакторе шахтового типа и было с достаточной достоверностью установлено, что вышеуказанный вариант может достигаться при среднем размере мелких кусков — 0,03 м, среднем размере крупных кусков 0,06 м и соответственно массовом содержании фракций 25–30 и 70–75 % и наличием конусной части в печи в зоне выгрузки и переходных зонах.

Как показано в отсевах известняка фракцией 20–60 мм соотношение мелких фракций (более 20 и менее 40 мм) и крупных фракций (более 40 и менее 60) находится примерно в тех же пределах, которые установлены в [9, 10]. В этих же работах теоретически и экспериментально доказано, что, если выполняются условия соотношения размеров конусной части шахты, а так же переходных зонах, разделения скоростей движения по фракциям в шахте незначительное (порядка 2–3 %). Таким образом, можно принять, что по высоте шахты в цилиндрических областях обе фракции движутся совместно с одинаковой скоростью.

Таким образом, при принятом фракционном составе известняка, подаваемого в печь, можно принять условие равномерного движения материала вдоль шахты печи. Кинетика обжига известняка при условии движения плотного слоя и проницаемого для топочных газов (фильтрация через слой) достоверно описывается формулой:

$$\tau_n = \frac{Q_y \rho_o C_o r_o}{300 \alpha \lambda_o \Delta T_2} \left[ (1 - \varepsilon T) \cdot \left( \lambda + \frac{\alpha r_o}{2} \right) - \frac{1}{4} \varepsilon \alpha \Delta T_2 r_o \right] = \frac{Q_y \rho_o C_o r_o}{300 \alpha \lambda_o \Delta T_2} \left( 1 - \frac{C_k}{C_o} \right) \cdot (1 - \varepsilon T), \quad (1)$$

где  $Q_c$  — удельный расход тепла, кДж/кг;  $\rho_o$  — плотность известняка — 2553 кг/м<sup>3</sup>;  $C_o$  — содержание известняка  $CaCO_3$  — % масс;  $r_o$  — средний размер куска известняка, м;  $\alpha$  — коэффициент теплообмена, кДж/(м<sup>2</sup> · ч · К);  $\Delta T_2$  — разность температур между газовой средой и веществом;  $\Delta T_2 = T_c - T_B$ , где  $T_c$  — температура газовой среды, К;  $T_B$  — относительно постоянная температуры кусков материала в зоне обжига, К;  $\lambda_o$  — коэффициент теплопроводности кДж/(м<sup>2</sup> · ч · К);  $\varepsilon$  — коэффициент  $\approx 0,42 \cdot 10^{-3}$ .

Используя экспериментальные данные, полученные авторами по формуле (1) было определено время полного разложения известняка со средним размером  $r_o \approx 0,05$  м и  $C_o = 95$  % масс в зависимости от температуры  $T_c$ . Результаты расчетов приведены на рис. 2.

Результаты расчетов показывают (рис. 2), что до  $\alpha \approx 60$ –80 кДж/(м<sup>2</sup> · ч · К) лимитирующей стадией теплопередачи является подвод тепла к материалу с газом с определенной  $T_c$ . Выше указанного значения  $\alpha$  интенсивность подвода тепла почти не снижается на общем коэффициенте теплопередачи, время полного разложения при этом является неизменным.

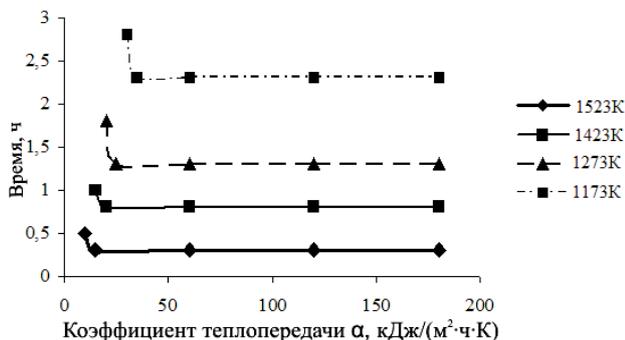


Рис. 2. Зависимость продолжительности полного разложения известняка от \$T\_c\$ и значений \$\alpha\$

Таким образом температура топочных газов, с которой необходимо их подавать в горячую зону (\$T\_c\$) должны быть в пределах 1423–1523 К, а высота (размер) горячей зоны исходя из линейной скорости перемещения материала по высоте \$\bar{V}\_v = 0,8 \cdot 10^{-3}\$ м/с должна быть в пределах 3,5–4 м, что вообще-то согласуется с размерами промышленных печей. При этом поперечный размер (\$D\$) горячей зоны должен определяться из условия радиального проникновения потока топочных газов в слой материала \$P\_o\$, который как авторами установлено ранее [10] можно оценить по уравнению:

$$P_o = C \cdot \frac{K_K^{0,35}}{K_\Phi^{0,09}}, \quad (2)$$

где \$K\_K = \frac{d\_M}{D}\$ — симплекс кусковой засыпки размером \$d\_M\$; \$D\$ — диаметр шахтной печи, м; \$K\_\Phi = \frac{d\_1}{D}\$ — симплекс фурменного устройства; \$C\$ — коэффициент, учитывающий симплекс раскрытия струи потока топочных газов \$\frac{a}{360}\$, где \$a\$ — угол раскрытия факела горелки, и соотношение скорости движения газового потока в слое материала к скорости движения материала, т. е.:

$$C \approx \frac{a}{360} \cdot \frac{V_r}{V_v}$$

Расчет статистических характеристик уравнения (2) и коэффициентов проникновения топочных газов на ЭВМ показал, что \$C \approx 25,2 \pm 0,6\$ при \$a = 1,25\$, \$P\_o \approx 0,5\$.

Анализ показал, что при значениях \$P\_o \ge 0,5\$ потоки топочных газов, введенные в фурмы, перекроют все сечение печи и их распределение по высоте при условии наличия конусных переходов будет примерно таким: выше фурм \$\approx 75\$–\$85\$ % потока топочных газов, ниже фурм \$\sim 15\$–\$20\$ % потока.

Исходя из результатов экспериментальных и теоретических исследований, приведенных в работах [6, 9], конусные переходы в шахте реактора рассчитываются из условий (для исследованных фракций \$d\_M\$), которые должны обеспечивать угол раскрытия конуса \$15^\circ\$ (рис. 1) и при этом диаметр нижнего сечения конуса \$d\$ (рис. 1), будет являться диаметром шахты печи ниже конусного перехода. Указанные условия обеспечивают относитель-

ное постоянство скорости \$\bar{V}\_v\$, исключают возможности зависания слоя и за счет изменения гидродинамического сопротивления обеспечивают вышеотмеченное распределение потоков. Высота усеченного конуса \$H\_1\$ (рис. 1) в зависимости от \$D\$ (\$2 \div 3\$ м) и угла раскрытия конуса (\$15^\circ\$) составляет \$(6 \div 12) d\_1\$. Соответственно последнему, отношение \$d/D\$ находится в интервале \$0,3 \div 0,8\$.

Высота зоны охлаждения и выгрузки выбирается из условия соблюдения угла раскрытия конусной части \$30^\circ\$, \$D\_1 \approx 2,2D\$ для создания в охлаждающей зоне шахты коллектора для отвода ВС (рис. 1). Высота шахты от конца верхнего уровня горячей зоны по ходу топочных газов рассчитывается по уравнению (1) с учетом того, что температура топочных газов должна изменяться от 1423 К до 423 К на выходе из печи.

Вышеописанные конструктивные особенности печного агрегата преследуют следующую цель: равномерное распределение теплоносителя по сечению шахты, создание устойчивой горячей зоны, печи с относительно постоянной и регулируемой температурой материала в этой зоне, интенсификация процесса диссоциации и повышение доли CaO акт в продукте обжига до 90–92 %, утилизацию отходов карбонатного сырья фракции 20–60 мм с одновременным снижением расхода природного газа на 10–20 %, получение отходящих топочных газов с повышенной объемной долей CO<sub>2</sub> до 23–35 %, что позволяет их использовать в производстве белой сажи, химически осажденного мела в процессах карбонизации.

Эффективность рекомендуемых конструктивных изменений, кроме приведенных данных, можно оценить по данным приведенным в табл. 1, где показаны результаты эксплуатации шахтных агрегатов, применяемых в промышленности и с рекомендуемыми конструктивными изменениями.

Таблица 1

Показатели работы промышленной шахтной печи с \$D = 2,5\$ м, \$H = 18,3\$ м и полузаводской печи с конусными переходами, имеющей аналогичный размер \$D\$ в горячей зоне выше фурм

Показатели	Промышленная печь	Полузаводская печь
Фракционный состав известняка, м	0,060	0,03–0,06
Фракция более нижнего предела, % <sub>масс.</sub>	75,0	75,0
Давление (даПа)		
– в верхней части печи	200,0	200,0
– в средней части печи	100,0	130,0
– в нижней части перед зоной охлаждения	40,0	25,0
Состав отходящего газа сверху печи, % <sub>об.</sub> :		
– CO <sub>2</sub>	14,5	26,7
– O <sub>2</sub>	10,5	2,6
– CO	0,53	0,14
– H <sub>2</sub>	0,44	0,52
– CH <sub>4</sub>	0,29	0,19
– N <sub>2</sub>	73,69	69,5
Коэффициент избытка кислорода при сжигании газа	1,55	1,12
Объем CaO <sub>своб.</sub> , т/м <sup>2</sup> сут	8,3	9,6
Степень обжига, %	98,7	99,0
Расход тепла, кДж/кгCaO <sub>св.</sub>	6600	5120

Как видно из данных по эксплуатации печей, приведенных в табл. 1, описанная конструкция модерни-

зированной шахтной печи и способ обжига в ней обеспечивает повышение производительности печи (объем  $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ ) на 15 %, утилизацию отходов карбонатного сырья фракции 0,03–0,06 м, снижение расхода тепла на получение 1 кг  $\text{CaO}_{\text{своб.}}$  на 20–28 %. Кроме того в отходящих газах модернизированной печи содержание  $\text{CO}_2$  повысилось в 1,8 раза, содержание  $\text{CO}$  снизилось в 3,8 раза, коэффициент избытка по кислороду снизился в 1,4 раза. Все эти показатели достигнуты при достижении степени превращения 99,0 % и при содержании  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  — 90–92 %.

### 5. Обсуждение результатов исследования усовершенствования процесса и конструкции шахтной печи

Приведенные результаты исследований являются продолжением и обобщением ранее выполненных авторами работ. Принятый в данной работе подход к усовершенствованию процесса и конструкции шахтной печи позволил создать рациональную геометрическую конструкцию реакционных зон шахтной печи и установить соотношение размеров зон от размеров кускового материала, подаваемого на обжиг, и принятой производительности, которая связана с поперечным размером шахты. Полученные соотношения при проектировании шахтных известково-обжигательных печей является эффективным средством решения задач масштабирования изучаемых процессов и объектов, хотя и являются полуэмпирическими. Как следует из табл. 1 эффективность процесса обжига известняка в моделированной конструкции очевидна. Поэтому при выполнении проектов строительства и модернизации шахтных и известково-обжигательных печей с использованием газообразного топлива для предварительной оценки конструкции и процесса целесообразно использовать полученные результаты.

### 6. Выводы

1. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности широкого внедрения усовершенствованной конструкции печи в различных отраслях промышленности.

2. Установленные расчетные формулы, полученные конструктивные соотношения размеров, и конфигурация внутренней части печи базируются на результатах вышеуказанных теоретических и экспериментальных исследований и не противоречат известным фундаментальным работам, в которых рассматриваются методы достижения аналогичных целей.

### Литература

1. Табунчиков, Н. П. Производство извести [Текст] / Н. П. Табунчиков. — М.: Химия, 1974. — 240 с.
2. Нехлебаев, Ю. П. Экология топлива при производстве извести [Текст] / Ю. П. Нехлебаев. — М.: Металлургиздат, 1987. — 135 с.
3. Компанец, В. В. Сокращение использования природного газа за счет перевода существующих известково-обжигательных печей на твердое топливо [Текст]: сб. трудов I Международной отраслевой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов в области проекта предприятия горно-металлургического комплекса, 27–28 марта 2012 / В. В. Компанец // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды. — Харьков: Энергосталь, 2012. — С. 122–134.
4. Дорофеев, С. О. Численное моделирование движения сыпучего материала в реакторе шахтного типа [Текст] / С. О. Дорофеев // Теоретические основы технологии. — 2007. — Т. 41, № 2. — С. 205–212.
5. Николаев, Л. А. Теоретическая химия [Текст] / Л. А. Николаев. — М.: Высшая школа, 1984. — 400 с.
6. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М.: Наука, 1979. — Т. IX: Статистическая физика, Ч. 2. — 700 с.
7. Дорофеев, С. О. Численное моделирование течения би дисперсного сыпучего материала в реакторе шахтного типа [Текст] / С. О. Дорофеев // Теоретические основы химической технологии. — 2007. — Т. 41, № 6. — С. 625–629.
8. А. с. № 1322050 СССР, МКИ F27B1/00. Шахтная печь для получения хлористого аммония [Текст] / Зотов В. Н., Ойгенблик А. О., Пахомов В. А. — № 4008187/22-02; заяв. 28.11.1985, опубл. в Б. Н. 1987, Бюл. № 25. — 2 с.
9. Жулин, В. М. Влияние высокого давления на реакции в жидкой фазе [Текст] / В. М. Жулин // Физическая химия. Современные проблемы (ежегодник). — М.: Химия, 1984. — 200 с.
10. Calcination of Limestone [Text] / Lime and Limestone. — Wiley-VCH Verlag GmbH, 1998. — P. 139–154. doi:10.1002/9783527612024.ch15

### ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ВАПНА В ШАХТНИХ ПЕЧАХ

Представлено аналіз шахтних печей для виробництва вапна. Виявлені недоліки роботи сучасних печей при випаленні вапняку полідисперсного складу. Запропонована конструкція пересипної печі з підвищеною ефективністю, яка забезпечує підвищення продуктивності печі на 15 %, утилізацію відходів карбонатної сировини, зниження витрати тепла на 20–28 %. У експериментальних дослідженнях були встановлені кінетичні процеси випалення. Приведені дані експлуатації печі з рекомендованими конструктивними змінами.

**Ключові слова:** вапно, випалення вапняку, шахтна піч, карбонат кальцію, топкові гази.

*Пітак Інна Вячеславівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: ipitak5@gmail.com.*

*Шаповров Павел Валерійович, інженер, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Шестопалов Алексей Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: phoenix\_alex@mail.ru.*

*Шаповров Валерій Павлович, доктор технічних наук, професор, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: fiola2008@mail.ru.*

*Пітак Інна Вячеславівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Шаповров Павло Валерійович, інженер, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Шестопалов Олексій Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Шаповров Валерій Павлович, доктор технічних наук, професор, кафедра хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Pitak Inna, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: ipitak5@gmail.com.*

*Shapovrov Pavel, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine.*

*Shestopalov Oleksii, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: phoenix\_alex@mail.ru.*

*Shapovrov Valery, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: fiola2008@mail.ru*