

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ
СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ**

¹Гераскина Э.А., к.т.н., доцент,
poselok@te.net.ua, ORCID: 0000-0002-3308-3776

¹Хоменко О.И., к.т.н., доцент,
olgahomenko_tgp@ukr.net, 0000-0002-2465-0273

¹Даниченко Н.В., к.т.н., доцент,
nikolai.danichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

¹Хоменко А.А., к.т.н., ст. преподаватель,
khomenko_odaba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2580-9861

¹Фесик Л.А., к.т.н., доцент,
fesik.50@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8551-5158

¹Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. Статья посвящена задаче совершенствования системы утилизации теплоты для промышленного и коммунального теплоснабжения. Сформулированы пути совершенствования схем охлаждения печей обжига строительных материалов, определены способы стабилизации теплового режима и условия разработки функциональных схем для печных агрегатов.

Вращающиеся обжиговые печи в условиях переменного воздействия температуры воздуха, скорости ветра, солнечного излучения и атмосферных осадков теряют с боковой поверхности в окружающую среду до 30% теплоты. Неблагоприятное влияние указанных факторов негативно отражается на тепловом состоянии печного агрегата с перегревом в теплый и переохлаждением в холодный периоды года, а также снижает устойчивость футеровки и качество продукции. Характерно, что для поддержания необходимой температуры на внутренней поверхности печи и продления срока службы футеровки, предполагается естественное охлаждение боковой поверхности агрегата. Это неуправляемый процесс с вышеупомянутыми недостатками.

Одним из направлений повышения эффективности утилизации энергии сжигаемого топлива является организация регулируемого охлаждения вращающейся печи. Одной из схем, обеспечивающих необходимый отбор теплоты с поверхности печи, является схема с рециркуляционным каналом. Она основана на повторном использовании потока теплоносителя, рециркуляционная часть которого возрастает с понижением температуры наружного воздуха. В летнем расчетном режиме система работает как прямоточная и весь поток поступает в абонентские системы. В зимнем расчетном периоде поступает воздух с байпасной линии.

С учетом вышеуказанных условий получены зависимости для нахождения основных параметров системы стабилизирующего охлаждения вращающейся печи, которая используется для коммунально-бытового теплоснабжения.

Ключевые слова: вращающаяся обжиговая печь, утилизация теплоты, промышленное теплоснабжение, воздушное охлаждение, стабилизация теплового режима.

Введение. В промышленности строительных материалов проблема повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов является наиболее актуальной для производства таких энергоемких видов продукции, как керамзит, цемент, известь, железобетонные конструкции и керамические стеновые материалы. На их производство ежегодно расходуется более 50% всех топливно-энергетических ресурсов, потребляемых строительной индустрией [1].

Вращающиеся обжиговые печи в условиях переменного воздействия температуры

воздуха, скорости ветра, солнечного излучения и атмосферных осадков теряют с боковой поверхности в окружающую среду до 30% расходуемой теплоты. Неблагоприятное воздействие указанных факторов отрицательно отражается на тепловом состоянии вращающейся печи, которая перегревается в теплый и переохлаждается в холодный период года, что приводит к снижению стойкости футеровки и качества продукции.

Анализ последних исследований и публикаций. Кроме основных публикаций [1-3], известны также работы [4-6], в которых разрабатываются новые технические принципы повышения эффективности утилизируемой энергии первичного топлива в процессе отбора, преобразования и потребления утилизируемой теплоты от корпуса печи. Анализ существующих технических решений по использованию утилизируемой теплоты для промышленного теплоснабжения указывает на необходимость совершенствования функциональных схем по обеспечению заданного уровня охлаждения печного агрегата.

Постановка задачи. Решением задачи по обеспечению технологических требований и повышения эффективности утилизации энергии сжигаемого топлива является организация регулируемого охлаждения вращающейся печи. Разработки систем теплоснабжения на основе энергии регулируемого охлаждения вращающихся печей указывают на необходимость совершенствования функциональных схем по обеспечению заданного уровня охлаждения печного агрегата с возможностью утилизации теплоты для промышленного теплоснабжения.

Материалы и методика исследования. Обжиговые вращающиеся печи являются весьма сложным агрегатом, в котором реализуются все теплотехнические процессы от регулирования количества исходного сырья до получения конечной продукции, требуемого качества. Общая методика работ по достижению цели предусматривает разработку подходов и путей решения поставленных задач с позиций представления объекта исследований как мощного генератора вторичной теплоты, на основе которого должны быть реализованы условия рационального отбора и утилизации теплоты с наружной поверхности агрегата. Она базируется на балансном соотношении обоснованного объема энергии технологического теплопотребления и потерь теплоты по отдельным статьям непроизводственных расходов, на анализе известных путей сокращения расхода теплоты, на возможностях систем абонентского теплопотребления, на учете факторов вредного воздействия на окружающую среду, на условиях резкого повышения стоимости сжигаемого топлива в последний период.

Предусматривается применение методов математического и экспериментального моделирования тепловых и аэродинамических процессов исследования в решении поставленных задач. Необходимо также проведение исследований экспериментального поиска в лабораторных условиях с проверкой полученных результатов в промышленных условиях.

Результаты исследования. Стабилизация теплового режима печи с использованием предложенного укрытия сводится к отбору вполне определенного количества теплоты в течение эксплуатационного периода независимо от изменения температуры наружного воздуха, при которой обеспечивается относительная неизменность теплового режима печного агрегата [5-10].

Одним из возможных и наиболее простых вариантов схемных решений по обеспечению работы предложенного устройства для укрытия печи являются прямоточные схемы отбора теплоты от поверхности обжиговой печи (рис. 1 а, б).

Отбор постоянного теплового потока с поверхности обжиговой печи по этим схемам должен осуществляться со средней между начальной и конечной температурой теплоносителя, являющейся оптимальной по технологическим требованиям для поддержания постоянства внешнего теплообмена в течение всего эксплуатационного периода.

Нерациональность применения таких схем для укрываемого участка обжиговой печи заключается в следующем:

– любое изменение расхода теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха t_n предопределяет изменение скорости охлаждающего теплоносителя в зазоре вокруг печи, что приводит к изменению качественной характеристики теплообмена, то есть к изменению эффективности теплообмена α на поверхности печи;

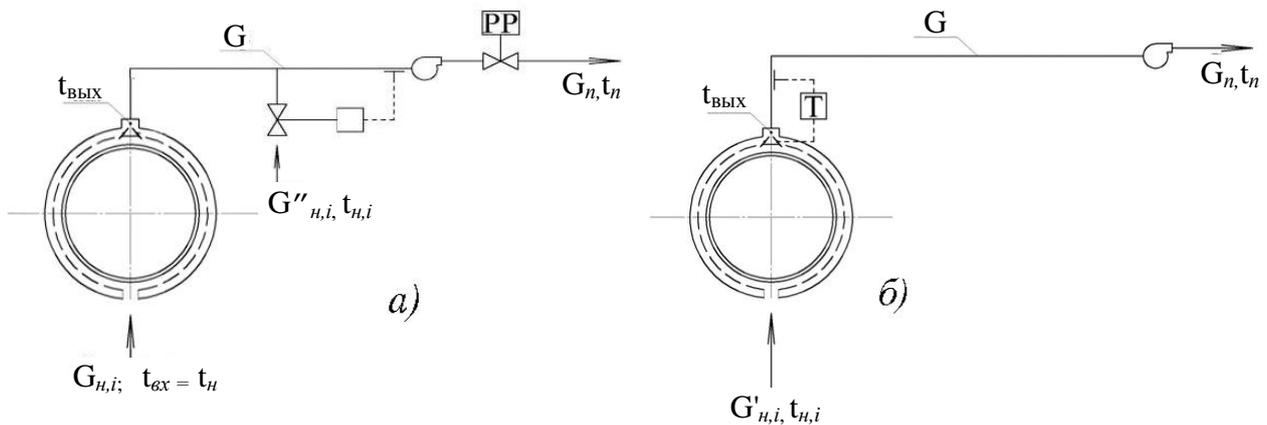


Рис. 1. Прямоточные схемы отбора теплоты от поверхности обжиговой печи:
 а – вариант 1; б – вариант 2, с байпасной линией; $t_{ex} = t_n$ – температура теплоносителя на входе в устройство для утилизации теплоты, $^{\circ}\text{C}$; $t_{вых}$ – температура теплоносителя на выходе из устройства, $^{\circ}\text{C}$; $G'_{n,i}$ – расход теплоносителя на входе в устройство, кг/ч; $G''_{n,i}$ – подмешиваемая часть теплоносителя, кг/ч; G_n – расход теплоносителя, поступающего к потребителю, кг/ч; t_n – температура теплоносителя, поступающего к потребителю, $^{\circ}\text{C}$; PP – регулятор расхода; T – температурный регулятор

– работа вентилятора с переменным расходом воздуха в зависимости от температуры наружного воздуха должна быть автоматизирована с учетом температуры теплоносителя после укрытия. Причем, мощность электродвигателя будет использоваться менее эффективно со снижением температуры наружного воздуха t_n ;

– прямоточная система охлаждения печи нерациональна для потребителей утилизируемой теплоты, так как переменный расход теплоносителя G с его переменной температурой $t_{вых}$ очень редко совпадают с аналогичными условиями и режимом теплоснабжения, вследствие чего потребуется большой запас установочной мощности дублирующего теплогенератора либо соответственно сброс теплоты в окружающую среду, например, при совмещении работы такой схемы с системой воздушного отопления.

Таким образом, прямоточные системы воздушного охлаждения укрываемого участка печи при простой конструкции не способны обеспечить достаточную равномерность охлаждения со стабилизацией теплового режима в процессе отбора теплоты. Кроме того, весьма затруднительно использование теплоты в наиболее рациональных системах теплоснабжения (отопления либо технологии).

Отмеченных недостатков можно избежать, применив схему системы утилизации теплоты с рециркуляционным каналом (рис. 2). Эта система может обеспечивать постоянный отбор теплоты от печи и основана на повторном использовании потока теплоносителя, рециркуляционная часть которого G_p возрастает с понижением температуры наружного воздуха t_n . Основным принцип ее работы заключается в том, что в течение эксплуатационного периода совместно с потоком наружного воздуха на входе и выходе может поддерживаться постоянный температурный перепад и расход воздуха через устройство.

В схеме с рециркуляционным каналом наружный воздух в количестве $G'_{n,i}$ с помощью вентилятора 1 проходит через утилизатор 2, где нагревается и подается к потребителю (дутье, сушка материалов, отопление). Полная стабилизация процесса теплосъема может быть достигнута при постоянном расходе и температуре воздуха, проходящего через устройство для утилизации теплоты. Для этого в схеме (рис. 2) предусматривается установка автоматического регулятора 4 постоянства расхода и автоматического трехходового клапана 5, который изменяя соотношение между количеством наружного воздуха $G'_{n,i}$ и рециркуляционного воздуха $G_{\delta,i}$, поступающего по байпасной линии 7, поддерживает постоянной температуру

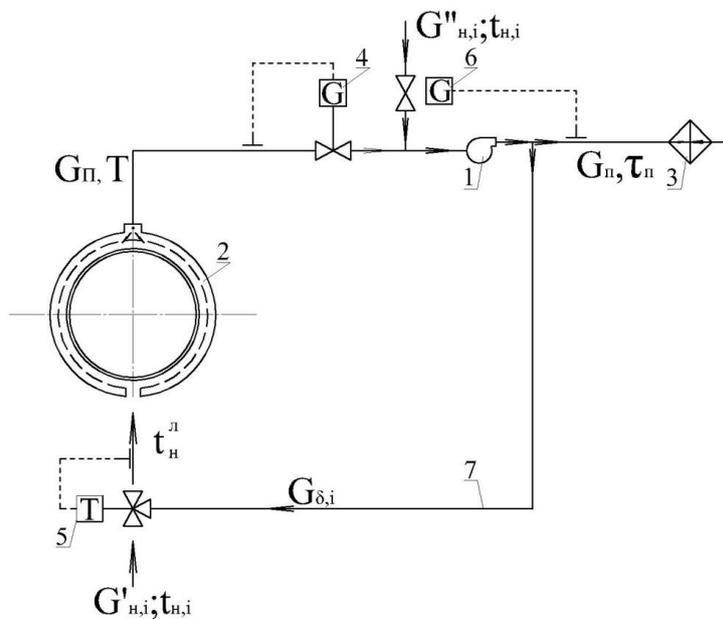


Рис. 2. Схема системы утилизации теплоты с рециркуляционным каналом:

1 – вентилятор; 2 – утилизатор теплоты; 3 – потребители теплоты; 4 – автоматический регулятор; 5 – трехходовой клапан; 6 – регулятор постоянства расхода; 7 – байпасная линия;

$G'_{n,i}$ – расход теплоносителя на входе в устройство, кг/ч; $t_{n,i}$ – температура входящего теплоносителя; $G_{\delta,i}$ – рециркуляционная часть теплоносителя, кг/с; $G''_{n,i}$ – вторичный забор наружного воздуха, кг/с; G_n – расход теплоносителя, поступающего к потребителю, кг/ч; τ_n – температура теплоносителя, поступающего к потребителю, $^{\circ}\text{C}$

воздуха на входе в теплоутилизатор 2. С изменением температуры $t_{n,i}$ наружного воздуха будет меняться количество воздуха $G_{\delta,i}$, проходящего по байпасной линии. Чтобы в этих условиях обеспечить постоянное количество воздуха G_n , поступающего к потребителю, в схеме предусматривается вторичный забор наружного воздуха $G''_{n,i}$ в количестве, равном $G_{\delta,i}$. На этом воздуховоде устанавливается автоматический регулятор 6 постоянства расхода, обеспечивающий неизменный расход воздуха, поступающего к потребителю. Применение данной конструкции теплоутилизатора позволяет значительно снизить его металлоемкость и отказаться от устройства теплоизоляции. Работа системы в различные периоды года заключается в следующем.

В летнем расчетном режиме, когда $t_n = t_n^l$, система работает как прямоточная. При этом рециркуляционный поток $G_{\delta,i}$ и часть наружного воздуха $G''_{n,i}$ равны нулю (клапаны регуляторов 6 и 5 на байпасе закрыты). Весь поток $G'_{n,i}$ поступает к потребителю, т.е. $G'_{n,i} = G_n$. В зимнем расчетном режиме, характеризуемом $t_n = t_n^3$, поддерживается равенство рециркуляционного и части наружного воздуха $G_{\delta,i} = G_n$. В промежуточный период года, когда $t_n^3 < t_n < t_n^l$, переменные составляющие общего потока наружного воздуха всегда обеспечивают $G'_{n,i} + G''_{n,i} = G_n$, а соотношение $G_{\delta,i}$ и $G'_{n,i}$ выдерживается таким, при котором на входе в теплоутилизатор гарантируется поддержание $t_n^l = \text{const}$.

Учитывая отмеченные условия и используя уравнения тепломассового баланса, получим следующие выражения для определения основных режимных параметров рассматриваемой системы:

$$G_n = \frac{\alpha}{c} F \frac{\tau_{nos} - t_n^l}{t_n^l - t_n^3}, \quad (1)$$

$$T = 2t_n^{\lambda} - t_n^3, \quad (2)$$

$$\frac{G'_{n,i}}{G_n} = \frac{t_{n,i} - t_n^3}{t_n^{\lambda} - t_n^3}, \quad (3)$$

$$\frac{G''_{n,i}}{G_n} = \frac{t_n^{\lambda} - t_n^i}{t_n^{\lambda} - t_n^3}, \quad (4)$$

$$G_{\delta} = 2G_n, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности печи к наружному воздуху при отсутствии устройства для утилизации теплоты, Вт/(м²·К);

c – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);

F – теплоотдающая поверхность, м²;

$\tau_{нов}$ – температура теплоотдающей поверхности, °С;

T – температура воздуха после устройства для утилизации теплоты, °С;

G_{δ} – максимальная производительность вентилятора, кг/с;

t_n – температура воздуха, поступающего к потребителю, °С.

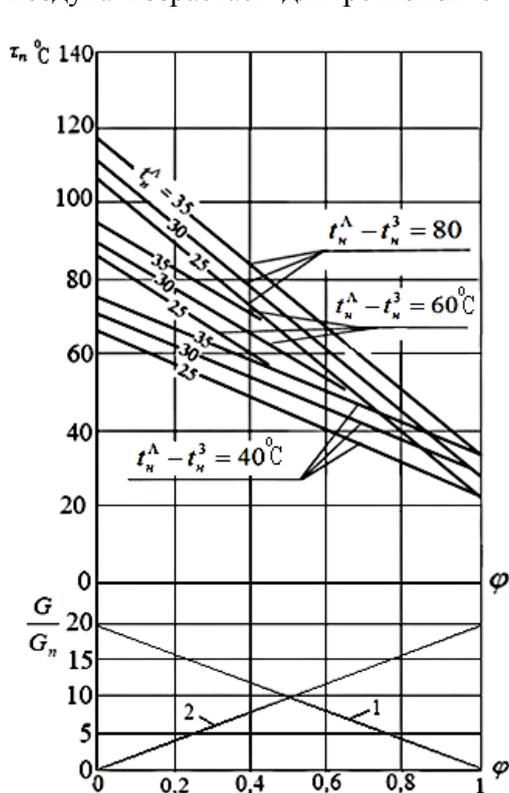
Приняв среднее значение $\alpha \approx 30$ Вт/(м²·К) и разделив обе части уравнения (1) на F , получим удельный расход воздуха q_{yd} , кг/с, для теплоутилизационной установки:

$$q_{yd} = 108 \frac{\tau_{нов} - t_n^{\lambda}}{t_n^{\lambda} - t_n^3}. \quad (6)$$

На рис. 3 приведен график, построенный по уравнениям (2), (3), (4), (5) в зависимости от параметра φ , который характеризует относительное положение текущей температуры наружного воздуха на всей шкале его расчетных температур:

$$\varphi = \frac{t_n^{\lambda} - t_n^i}{t_n^{\lambda} - t_n^3}. \quad (7)$$

Из графика видно, что при одинаковой температуре на поверхности печи удельный расход воздуха возрастает для регионов с более мягкими климатическими условиями, для которых



шкала наружных температур $(t_n^{\lambda} - t_n^3)$ имеет меньшие значения.

Выводы. Сформулированы принципы рационального охлаждения вращающейся печи с утилизацией теплоты для промышленного теплоснабжения, определены способы стабилизации теплового режима и условия разработки функциональных схем печных агрегатов.

В результате расчетно-аналитического исследования установлены новые зависимости и соотношения для определения основных параметров систем утилизации теплоты для промышленного теплоснабжения на основе стабилизирующего охлаждения вращающихся обжиговых печей.

Рис. 3. Зависимость основных режимных параметров утилизационной установки от состояния наружной температуры:

$$1 - \frac{G'_{n,i}}{G_n}; \quad 2 - \frac{G''_{n,i}}{G_n}; \quad \frac{G_{\delta,i}}{G_n}$$

Литература

1. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
2. Древицкий Е.Г., Добровольский А.Г., Коробок А.А. Повышение эффективности работы вращающихся печей. М.: Стройиздат, 1990. 225 с.
3. Установка для рекуперации теплоты, излучаемой корпусом вращающейся печи. *Промышленность строительных материалов. Серия 18. Цементная и асбестоцементная промышленность*. 1990. Выпуск 18. С. 7-8.
4. Петраш В.Д., Гераскина Э.А., Басист Д.В. Принципы автоматического регулирования охлаждения вращающейся печи с утилизацией энергии для промышленного теплоснабжения. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2005. Вип.20. С. 302-306.
5. Гераскина Э.А. Взаимосвязь конструктивных параметров укрытий теплоисточников для обеспечения режима воздушоструйной интенсификации теплообмена на охлаждаемой поверхности. *Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры*. 2001. Вып.5. С. 25.
6. Петраш В.Д. Теплоснабжение на основе утилизации энергии регулируемого охлаждения вращающихся печей. Одесса: ВМВ, 2006. 288 с.
7. Петраш В.Д., Чернышева И.В. Теплоснабжение на основе интеграции термотрансформированной энергии охлаждения печи и низкопотенциальных источников. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. Київського національного університету будівництва та архітектури*. 2012. Вип. 16. С. 84-92.
8. Петраш В.Д., Полунин М.М., Гераскина Э.А. Система утилизации теплоты от обжиговых вращающихся печей. *Водоснабжение и санитарная техника*. 1989. №12. С.14-15.
9. Гераскина Э.А. Расчет элементов воздухораспределения в системах стабилизационного охлаждения тепловых агрегатов. *Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье* : мат-лы межд. конф. Харьков, НТУ ХПИ. 2008. С. 218-219.
10. Михайленко В.С., Петраш В.Д., Гераскина Э.А. Система автоматического регулирования охлаждения вращающейся печи, действующая на основе принципов нечеткой логики. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2006. Вип. 22. С. 222-229.

References

- [1] S.P. Onackij, *Proizvodstvo keramzita*. M.: Strojizdat, 1987.
- [2] E.G. Drevickij, A.G. Dobvol'skij, A.A. Korobok, *Povyshenie effektivnosti raboty vrashchayushchihnya pechej*. M.: Strojizdat, 1990.
- [3] "Ustanovka dlya rekuperacii teploty, izluchaemoj korpusom vrashchayushchejsya pechi", *Promyshlennost' stroitel'nyh materialov. Seriya 18. Cementnaya i asbestocementnaya promyshlennost'*, vol. 18, pp. 7-8, 1990.
- [4] V.D. Petrash, E.A. Geraskina, D.V. Basist, "Principy avtomaticheskogo regulirovaniya ohlazhdeniya vrashchayushchejsya pechi s utilizaciej energii dlya promyshlennogo teplosnabzheniya", *Vestnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictv ta arhitekturi*, vol. 20, pp. 302-306, 2005.
- [5] E.A. Geraskina, "Vzaimosvyaz' konstruktivnyh parametrov ukrytij teploistochnikov dlya obespecheniya rezhima vozduhostrujnoj intensifikacii teploobmena na ohlazhdaemoj poverhnosti", *Vestnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictv ta arhitekturi*, vol. 5, pp. 25, 2001.
- [6] V.D. Petrash, *Teplosnabzhenie na osnove utilizacii energii reguliruemogo ohlazhdeniya vrashchayushchihnya pechej*. Odessa: VMV, 2006.
- [7] V.D. Petrash, I.V. Chernysheva, "Teplosnabzhenie na osnove integracii termotransformirovannoj energii ohlazhdeniya pechi i nizkopotencial'nyh istochnikov", *Ventilyaciya, osvittleniya ta teplogazopostachannya, KNUBA*, vol. 16, pp. 84-92, 2012.

- [8] M.M. Polunin, V.D.Petrash, E.A.Geraskina, "Sistema utilizatsii teploty ot obzhigovykh vrashchayushchikhsya pechey", *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*, no. 12, pp. 14-15, 1989.
- [9] E.A. Geraskina, "Raschet elementov vozduhoraspredeleniya v sistemah stabilizacionnogo ohlazhdeniya teplovykh agregatov", *Informacionnye tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, obrazovanie, zdorov'e: materialy XVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Har'kov: NTU HPI, 2008, pp. 218-219.
- [10] V.S. Mihajlenko, V.D. Petrash, E.A. Geraskina, "Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya ohlazhdeniya vrashchayushchejsya pechi, dejstvuyushchaya na osnove principov nechetkoj logiki", *Visnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnictv ta arhitekturi*, vol. 22, pp. 222-229, 2006.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ

¹Гераскіна Е.А., к.т.н., доцент,
poselok@te.net.ua, ORCID: 0000-0002-3308-3776

¹Хоменко О.І., к.т.н., доцент,
olgahomenko_tgp@ukr.net, 0000-0002-2465-0273

¹Даніченко М.В., к.т.н., доцент,
nikolai.danichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

¹Хоменко А.А., к.т.н., ст. викладач,
khomenko_odaba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2580-9861

¹Фесік Л.О., к.т.н., доцент,
fesik.50@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8551-5158

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Статтю присвячено проблемі підвищення ефективності використання опалювальних установок для промислового і комунального теплопостачання. Сформульовано принципи раціонального охолодження печей і будівельних матеріалів, визначено способи стабілізації теплового режиму і умови розробки функціональних схем для пічних агрегатів.

Обертіві випалювальні печі в умовах змінного впливу температури повітря, швидкості вітру, сонячного випромінювання і атмосферних опадів втрачають з бічної поверхні в навколишнє середовище до 30% теплоти. Неприятливий вплив зазначених факторів негативно відбивається на тепловому стані пічного агрегату з перегрівом в теплий і переохолодженням в холодний періоди року, а також знижує стійкість футерування і якість продукції. Характерно, що для підтримки необхідної температури на внутрішній поверхні печі і продовження терміну служби футерування, передбачається природне охолодження бічної поверхні агрегату. Це некерований процес з вищезазначеними недоліками.

Радикальним рішенням щодо забезпечення теплотехнологічних вимог і підвищення ефективності утилізації енергії палива, що спалюється, є організація регульованого охолодження обертної печі. Однією зі схем, що забезпечують необхідний відбір теплоти з поверхні печі, є схема з рециркуляційним каналом. Вона заснована на повторному використанні потоку теплоносія, рециркуляційна частина якого зростає зі зниженням температури зовнішнього повітря. У літньому розрахунковому режимі система працює як прямоточна і весь потік надходить до абонентських систем. У зимовому розрахунковому періоді поступає повітря з байпасної лінії.

З урахуванням вищезгаданих умов встановлено залежності для знаходження основних параметрів системи стабілізуючого охолодження обертової печі, яка використовується для комунально-побутового теплопостачання.

Ключові слова: обертова випалювальна піч, утилізація теплоти, промислове теплопостачання, повітряне охолодження, стабілізація теплового режиму.

IMPROVING THE HEAT RECOVERY SYSTEM WITH STABILIZATION OF THE THERMAL PROCESSES OF ROTARY KILNS

¹**Geraskina E.A.**, PhD., Assistant Professor, poselok@te.net.ua, ORCID: 0000-0002-3308-3776

¹**Khomenko O.I.**, PhD., Assistant Professor, olgahomenko_tgp@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2465-0273

¹**Danichenko N.V.**, PhD., Assistant Professor, nikolai.danichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2344-948X

¹**Khomenko A.A.**, PhD., Senior Lecturer, khomenko_odaba@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2580-9861

¹**Fesik L.A.**, PhD, Assistant Professor, fesik.50@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8551-5158

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The article is devoted to the problem of increasing the efficiency of using heating systems for industrial and municipal heat supply. The principles of rational cooling of furnaces and building materials are formulated, methods for stabilizing the thermal regime and conditions for the development of functional schemes for furnace units are determined.

Rotary kilns under alternating of air temperature, wind speed, sunlight and precipitation lose from the side surface into the environment up to 30% of heat. The adverse effect of these factors negatively affects the thermal condition of the furnace unit with overheating in warm and overcooling in the cold periods of the year, and also reduces the lining stability and product quality. Characteristically, in order to maintain the necessary temperature at the inner surface of the furnace and extend the service life of the lining, the natural cooling of the side surface of the unit is assumed. This is an uncontrollable process with the above mentioned disadvantages.

A radical solution to ensure the process requirements and improve utilization efficiency of fuel combustion energy is the organization of controlled cooling of the rotary kiln. One of the schemes providing the necessary heat removal from the furnace surface is a circuit with a recirculation channel. It is based on the reuse of the heating medium flow, the recirculation part of which increases with decreasing outdoor temperature. In the summer settlement mode, the system operates as a direct-flow system and the entire flow enters the consumer systems. In the winter billing period, air flows from the bypass line.

Based on the above conditions, dependencies are established for finding the main parameters of the stabilizing cooling system of a rotary kiln, which is used for municipal heating.

Keywords: rotary kiln, heat recovery, industrial heat supply, air cooling, thermal stabilization.

Стаття надійшла до редакції 23.06.2020