

В. В. ЮРКО, А. Н. ГАНЖА

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПЫЛЕННОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Рассмотрены вопросы использования тепла дымовых газов для нагрева воздуха горения. Разработанная конструкция петлевого воздухонагревателя, позволяющая работать на запыленном греющем теплоносителе. Приведенная сравнительная характеристика схем движения теплоносителей и выбрана оптимальная конструкция, позволяющая продлить срок эффективной службы теплообменного аппарата. Предлагаемая конструкция петлевого воздухонагревателя дает возможность не только утилизировать вторичное тепло дымовых газов для нагрева воздуха горения, но и решить проблемы, связанные с эффективной работой воздухонагревателя на запыленном теплоносителе, улавливать ценную пыль технологических процессов.

Ключевые слова: петлевой воздухонагреватель, использование вторичного тепла, нагрев воздуха, запыленный теплоноситель, схема движения теплоносителей, газо-импульсная, магнитно-импульсная очистка.

В. В. ЮРКО, А. М. ГАНЖА

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ПОВІТРОНАГРІВАЧА ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ОБЛАСТІ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЗА УМОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПИЛЕННОГО ТЕПЛОНОСІЯ

Розглянуто питання використання тепла димових газів для нагріву повітря горіння. Розроблена конструкція петлевого повітронагрівача, що дозволяє працювати на запиленому теплоносії, який нагріває. Наведена порівняльна характеристика схем руху теплоносіїв і обрана оптимальна конструкція, що дозволяє продовжити строк ефективної служби теплообмінного апарату. Представлена конструкція петлевого повітронагрівача дає можливість не тільки утилізувати вторинне тепло димових газів для нагріву повітря горіння, але і вирішити проблеми, пов'язані з ефективною роботою повітронагрівача на запиленому теплоносії, вловлювати цінний пил технологічних процесів.

Ключові слова: петлевий повітронагрівач, використання вторинного тепла, нагрів повітря, запилений теплоносієй, схема руху теплоносіїв, газо-імпульсне, магнітно-імпульсне очищення.

V. YURKO, A. GANZHA

IMPROVING RECUPERATIVE AIR HEATER TO ENLARGE ITS APPLICATION AREA PROVIDED THAT THE DUST-LADEN HEAT CARRIER IS USED

The aim of the work is the development of highly efficient heat exchange equipment with an optimal flow of heat transfer media for heating air with the smudged flue gases that are released during various technological processes. To achieve this goal, the following work was used in the work: calculation methods for studying heat transfer; physical modeling of heat transfer processes; methods of mathematical statistics; methods of the theory of similarity; mathematical modeling of heat exchange between flue gases and air through loop tubes using an object-oriented programming environment Borland C++ Builder. The obtained results show that, with the correct choice of the coolant flow pattern, it is possible to heat air up to 500 °C with a dusty coolant. The choice of the optimum design of the recuperator allows prolonging the period of effective operation. Advantage of the heater of the proposed design is the ability to carry out a stable heating of the combustion air, catching process dust, and prolong the effective operation of the air heater. The results of the solution of the tasks set in the work can be used to develop energy-saving complexes in the sphere of metallurgy and power engineering, for the development of energy-efficient complexes, highly efficient heat exchange equipment and systems for utilization of thermal secondary energy resources of high-temperature energy technological processes.

Keywords: loop air heater, use of secondary heat, air heating, dusty coolant, coolant flow chart, gas-pulse, magnetic-pulse cleaning.

Введение

Сейчас в мире выполнено значительное количество научно-технических работ, посвященных вопросу нагрева воздуха горения продуктами сгорания. Такое решение является наиболее эффективным методом использованием вторичного тепла при нагреве воздуха, поскольку возвращение с нагретым воздухом тепла в процесс уменьшает расход топлива, существенно повышает коэффициент его использования [1]. Для нагрева воздуха существуют многочисленные конструкции регенеративных воздухонагревателей и рекуператоров [2]. Применение их для нагрева воздуха дымовыми газами, которые не содержат пыли, освоено много

лет назад. Проблемы возникают, когда дымовые газы являются продуктами ряда технологических процессов и производств связанных с термической переработкой материалов, сгорания пылеугольного топлива и др., в процессе которых образуется большое количество склонной к налипанию пыли. В числе таких производств вельц-процессы в цветной металлургии, термообработка бытовых и промышленных отходов [3, 4].

Цель работы

Чтобы иметь возможность применять в энергетическом и металлургическом комплексах теплообменные аппараты, которые работали бы на

запыленных теплоносителях, особенно когда пыль отлагается на поверхностях нагрева необходимо создать соответствующую конструкцию теплообменника.

При этом необходимо обратить внимание на важный фактор, который возникает на многих заводах цветной металлургии, специализирующихся на переработке и утилизации отходов металлургических производств. Они наталкиваются на проблему необходимости сбора технологической пыли содержащейся в дымовых газах. При вельц-процессе переработки отходов цветной металлургии сталкиваются с необходимостью улавливания вельц-оксида, которая является ценным сырьем для последующего извлечения цветных металлов [6].

Изложение основного материала

В качестве наиболее приемлемой конструкции для решения этих двух задач предлагается применять конструкцию петлевого воздухонагревателя с петлями из труб, позволяя проводить встряску для сбора пыли. Для снятия необходимого тепла из дымовых газов и сбора пыли количество блоков петель выбирается по расчету. В каждом блоке по ходу дыма устанавливаются U-образные трубы, которые сварены в трубные решетки в коридорной порядке по ходу теплоносителя [7, 8].

Исходя из многолетнего опыта расчетов тепловых балансов и условий работы наиболее распространенных жаростойких марок стали, петлевой воздухонагреватель позволяет греть воздух до 450 °С и охлаждать запыленные дымовые газы от температуры 800 до 130 °С [7, 8].

К задачам нагрева воздуха дымовыми газами и улавливанию ценной пыли можно добавить задачу по увеличению срока эффективной службы воздухонагревателя.

Проведено исследование схем движения теплоносителей в петлевом воздухонагревателе и обоснована наиболее приемлемая конструкция, которая обеспечивает высокую эффективность работы.

Расчет воздухонагревателя проводился на основе [9] и с помощью [10].

Обсуждение результатов

На основе приведенного расчета получены параметры, которые дают возможность сравнить схемы движения теплоносителей в воздухонагревателе (рис. 1).

Полученное распределение температур стенок труб в воздухонагревателе позволяет опреде-

лить область возможного перегрева стенок труб. В результате возможно учесть температурный режим работы и продлить срок эффективной эксплуатации воздухонагревателя.

При противоточной схеме движения теплоносителей возможно достичь температуры нагрева воздуха до 400 °С и выше, однако температура стенок в первых блоках по ходу движения дымовых газов превышает предельную температуру эксплуатации углеродистой стали. Это приводит к необходимости выбора более жаростойкой стали.

Прямоточная схема устраняет необходимость в более жаростойкой стали, но температура нагрева воздуха будет существенно ниже, а температура теплоносителя на выходе выше допустимой для «сухой» газоочистки.

Комбинированная схема движения теплоносителей устраняет недостатки предыдущих схем. Нагрев воздуха до температуры 400–500 °С при перекрестно-прямоточном движении в воздухонагревателе существенно снижает использование жаростойких марок стали, но увеличивает общую металлоемкость воздухонагревателя.

Для решения задачи очистки и сбора пыли блоки петель воздухонагревателя оснащаются наиболее эффективными средствами очистки наружных поверхностей нагрева в виде системы магнитно-импульсной и газо-импульсной очистки. Системы очистки осуществляют сброс пыли из блоков, которая собирается в бункерах расположенных под ними.

Магнитно-импульсная установка имеет исполнительные механизмы, которые размещаются в соответствии со схемой воздухонагревателя. Силовой блок выполненный многоканальным и формирует мощные импульсы тока, при этом к каждому каналу могут подключаться несколько исполнительных механизмов. Исполнительный механизм состоит из индуктора и сталеалюминиевой плиты.

Силовой блок генерирует импульс тока в обмотку индуктора. В индукторе создается магнитное поле, которое индуцирует импульс тока в сталеалюминиевой плите, установленной с зазором по отношению к индуктору и жестко закрепленной на внешней стороне очищаемой поверхности. В результате взаимодействия импульсного тока в индукторе и плите они отталкиваются, и проводится бесконтактное импульсное механическое сотрясение на внешних поверхностях. Возникает локальная упругая деформация и в толще налипшего материала появляются напряжения смещения. При этом нарушается целостность слоя налипшего материала, разрушается адгезия материала к поверхности [11].

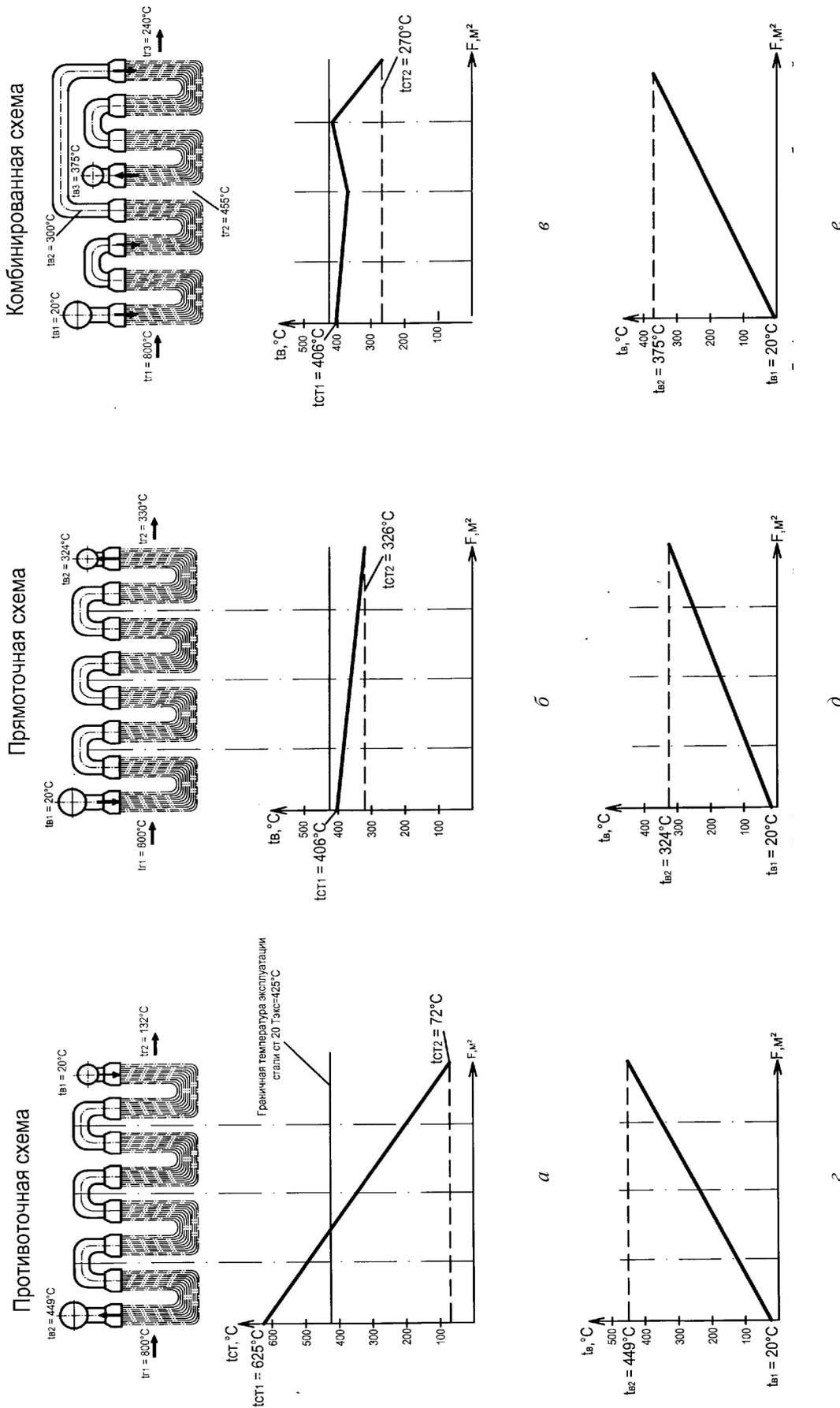


Рис. 1 – Сравнение схем движения теплоносителей:

- а – температура стенки при противоточной схеме; б – температура стенки при прямоточной схеме;
- в – температура стенки при комбинированной схеме; г – температура нагрева воздуха при противоточной схеме;
- д – температура нагрева воздуха при прямоточной схеме; е – температура нагрева воздуха при комбинированной схеме

Для наиболее склонной к налипанию пыли вместе с магнитно-импульсной очисткой параллельно предлагается использовать и газо-импульсная. Принцип работы, которой заключается в воздействии на отложения, образующиеся на поверхностях теплообмена направленной ударной акустической волны, генерируемой за счет взрывного горения ограниченного объема газозвушной смеси в импульсной камере. За счет выделения из нее продуктов сгорания происходит комплексное волновое и термогазодинамическое влияние на отложение теплообменных поверхностей.

Опыт эксплуатации систем газо-импульсной очистки показывает их высокую надежность и эффективность. Обе упомянутые системы очистки включаются автоматически по ходу дыма в зависимости от следующих импульсов:

- снижение температуры нагрева воздуха ниже допустимого значения;
- увеличение сопротивления в блоках воздухонагревателя по ходу дыма выше допустимого;
- увеличение температуры дыма на выходе выше допустимого.

Такие системы очистки работают одновременно, обеспечивая постоянство температуры дыма перед газоочисткой.

Системы очистки осуществляют сотрясение из блоков рекуператора осевшей пыли, затем собирается в бункерах расположенных под ним.

Опыт эксплуатации систем газо-импульсной очистки показывает их высокую надежность и эффективность. Для примера возьмем Челябинский цинковый завод (ПАО «ЧЦЗ»), там на котле-утилизаторе после металлургической печи установлена газо-импульсная система очистки, которая хорошо выполняет свои функции. Магнитно-импульсная очистка функционирует на котлах-утилизаторах Среднеуральского медеплавильного завода (ОАО «СУМЗ»).

Выводы

1. Разработана математическая модель передачи тепла от горячих, запыленных дымовых газов к холодному воздуху в петлевом воздухонагревателе.

2. Проведенный тепловой расчет охлаждения дымовых газов и нагрева воздуха, а также термоэкономический анализ схем движения теплоносителей в теплоутилизаторах и выбрана наиболее оптимальная схема для наиболее эффективного режима работы теплообменника.

3. Подобранный наиболее эффективная система очистки поверхностей нагрева от пыли, что позволяет с успехом применять такой воздухонагреватель на многих агрегатах для утилизации тепла запыленных продуктов горения и сбора ценной пыли.

4. Преимуществом воздухонагревателя предлагаемой конструкции является возможность осуществлять стабильный нагрев воздуха горения, улавливания технологического пыли, а также продление срока эффективной эксплуатации воздухонагревателя.

5. Результаты решения поставленных в работе задач могут быть использованы при разработке энергосберегающих комплексов в сфере металлургии, энергетики и энергосбережения для развития энергоэффективных комплексов, высокоэффективного теплообменного оборудования и систем утилизации тепловых вторичных энергоресурсов высокотемпературных энерготехнологических процессов.

6. Предложенная конструкция может быть использована в качестве газоохладителей перед сухой газоочисткой дуговых сталеплавильных и ферросплавных печей.

7. Направлением дальнейших исследований в данной области является оптимизация рекуперативного воздухонагревателя методом иерархического теплового расчета теплообменников.

Список литературы

1. Сезоненко Б. Д. Экономия топлива в промышленных печах при рекуперативном подогреве воздуха. *Материалы республиканской науч.-техн. конф. Академии наук УССР*. Киев: Наукова думка, 1986. 151 с.
2. *Расчет воздухонагревателя металлургических печей*: методические указания к НИР / под ред. А.Д. Горбунов. Днепропетровск: ДИИ, 1987. 56 с.
3. Пат. 118988 Україна, МПК C22B7/00, C22B19/38. *Комплекс переробки сировини, що містить сполуки цинку та свинцю* / Рижавський А. З., Сталінський Д. В., Зимогляд А. В., Юрко В. В.; заявитель и патентообладатель ДП «УкрНТЦ«Енергосталь». № u201700817; заявл. 30.01.17; 11.09.17, Бюл. № 17. 8 с.: ил.
4. Заявка a201700815 Україна, МПК C22B7/00, C22B19/38. *Комплекс переробки сировини, що містить сполуки цинку та свинцю* / Рижавський А. З., Сталінський Д. В., Зимогляд А. В., Юрко В. В.; заявитель и патентообладатель ДП «УкрНТЦ«Енергосталь». № a201700817; заявл. 30.01.17.
5. Лемлек И. М., Гордин В. А. *Высокотемпературный нагрев воздуха в черной металлургии*. Москва: Металлургиздат, 1963. 350 с.
6. *Металлические трубчатые петлевые рекуператоры* [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: <http://kerammash.ua/rus/index.htm>. Название с экрана. Дата обращения 22.01.2018.
7. Юрко В. В. Створення повітрянагрівача для утилізації тепла продуктів горіння вельц-процесу. *Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- та ресурсозбереження, оточуючої природної середовища: сб. науч. тр. VI Міжнарод. науч.-практ. конф. молодих учених і спеціалістів, 22–23 березня 2017 г., г. Харків*. – Харків: ГП «УкрНТЦ «Енергосталь», 2017. – С. 90–93.
8. Юрко В. В. Створення рекуперативного петлевого повітрянагрівача для розширення області застосування за умови запиленого гріючого теплоносія. *Гуманітарні, природничі та точні науки як фундамент суспільного розвитку: матеріали IV Всеукраїнської наук.-практ. конф., 26–27 січня 2018 р., м. Харків*. Харків, 2017. С. 60–65.
9. *Тепловой расчет котлов (нормативный метод)*. Изд. 3-е, перераб. и доп. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.

10. *Разработка и внедрение методики расчета оптимальных параметров газоотводящего тракта за нагревательными печами* : отчет о НИР. Под ред. С. М. Андоньева. Харьков: ВНИПИЧЕРМЕТЭНЕРГООЧИСТКА, 1973. 183 с.
11. Погребняк А. П., Воеводин С. И., Кокорев В. Л., Кокорев А. Л. Опыт внедрения газо-импульсной очистки на энерготехнологических котлах и котлах промышленной и коммунальной энергетики. *Новости теплоснабжения*. 2007. № 9(85). С. 13–21.
7. Yurko V. V. (2017), "Stvorenniya povitronagrivacha dlya utilizatsii tepla produktiv gorinnya vel'ts-protsesu [Creation of an air heater for utilization of heat of combustion products of velts process]", *Report of VI Inter conf. "Innovative ways of modernization of basic industries, energy and resource saving, environment environment"* 22–23 March SE "UkrSNC "Energostal", Kharkiv, Ukraine, pp. 90–93.
8. Yurko V. V. (2017), "Stvorenniya rekuperatyvnoho petlevoho povitronahrivacha dlya rozshyrennya sfery zastosuvannya za umovy zapylenoho hriyuchoho teplonosiya [Creation of a recuperative loop air heater to expand the scope of application of a dusty heating fluid]", *Report of IV Inter conf. "Humanities, natural sciences and exact sciences as the foundation of social development"* 26–27 January, Kharkiv, Ukraine, pp. 60–65.
9. (1998), *Teplovyy rozrakhunok kotliv (normatyvnyy metod)* [Thermal calculation of boilers (normative method)], St. Petersburg, Russia, 256 p.
10. Andon'yev S. M. (1973), "Razrabotka i vnedreniye metodiki rascheta optimal'nykh parametrov gazoovodyashchego trakta za nagrevatel'nymi pechami [Development and introduction of the methodology for calculating the optimal parameters of the gas removal duct behind the heating furnaces]", *Research work: i vnedreniye metodiki rascheta optimal'nykh parametrov gazoovodyashchego trakta za nagrevatel'nymi pechami*, SE "UkrSNC "Energostal", Kharkiv, Ukraine, 183 p.
11. Pogrebnyak A. P., Voyevodin S. I., Kokorev V. L., Kokorev A. L. (2007), "Opyt vnedreniya gazo-impul'snoy ochistki na energotekhnologicheskikh kotlakh i kotlakh promyshlennoy i kommunal'noy energetiki" [The experience of introducing gas-impulse cleaning on energy-engineering boilers and boilers of industrial and municipal energy], *Heating news*, No. 9(85), pp. 13–21.

Посмунила (received) 26.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Юрко Володимир Володимирович (Юрко Владимир Владимирович, Vladimir Yurko) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій; м Харків, Україна; e-mail: yurkovladymyr@ukr.net.

Ганжа Антон Миколайович (Ганжа Антон Николаевич, Ganzha Anton) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м Харків, Україна; e-mail: ganzha_371@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3967-2421>.