

Важность данного наблюдения подтверждается результатами других исследователей [1, 3, 6].

Исходя из полученных результатов, считаем необходимым проведение аналитики использования топливно-энергетических ресурсов на предприятиях-участниках национального проекта при проведении этапа диагностики, а также внедрение и развертывание мер по повышению энергетической эффективности производства. Необходимость проведения такой аналитики требует дополнения существующей методики реализации программы по повышению производительности труда на предприятиях.

Список использованных источников

1. Chiarini A. Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *Journal of Cleaner Production* 85 (2014). Pp. 226-233.
2. Федеральный центр компетенций [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://производительность.рф/ru/national-project/address_support/
3. Abualfaraa W., Salonitis K., Ala'raj M. Lean-Green Manufacturing Practices and Their Link with Sustainability: A Critical Review. *Sustainability* 2020, 12, 981.
4. Свердловская область. РИА-новости [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ria.ru/20190207/1550557680.html>.
5. Публичная декларация Министерства промышленности и науки Свердловской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://mpr.midural.ru/UPLOAD/2020/12/pub_declar_2021.pdf.
6. Kurdve M., Zackrisson M., Wiktorsson M., Harlin U. Lean and green integration into production system models – experiences from Swedish industry. *Journal of Cleaner Production* 85 (2014). Pp. 180-190.

УДК 662.99

В. В. Куприянова, А. К. Ершов, В. А. Гольцев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ

Аннотация. *Предлагается модернизация энерготехнологического агрегата с целью перераспределения тепловой энергии в основном для подогрева воздуха, идущего в топливосжигающие устройства анодной печи. Усовершенствована методика расчета цепочки теплообменников в энерготехнологическом агрегате. Расчетным путем получены температуры продуктов сгорания и подогреваемого воздуха, определена паропроизводительность камеры радиационного охлаждения и конвективной секции.*

Ключевые слова: *теплообменный аппарат, тепловой баланс, энерготехнологический агрегат, тепловой баланс, подогрев воздуха.*

Abstract. *It is proposed to modernize the power engineering unit with the aim of redistributing thermal energy, mainly for heating the air going to the fuel-burning devices of the anode furnace. The methodology for calculating a chain of heat exchangers in a power engineering unit has been improved. The temperatures of the combustion products and heated air were obtained by calculation, the steam capacity of the radiation cooling chamber and the convection section was determined.*

Keywords: *heat exchanger, heat balance, energy technology unit, heat balance, air heating.*

Энерготехнологический агрегат (рис. 1), установленный для утилизации теплоты продуктов сгорания за печью для огневого рафинирования черновой меди, представляет собой систему газоходов, объединяющую несколько теплообменных аппаратов. Первоначально технологические газы с наиболее высокой температурой поступают в вертикальный охлаждаемый газоход, называемый камерой радиационного охлаждения (КРО). Диаметр камеры равен 1,2 метра, а ее высота составляет 8 метров. Камера изнутри экранирована системой труб, расположенных на её внутренней поверхности. Трубы соединены с опускным и подъемным коллекторами, а те, в свою очередь, с барабаном-сепаратором. В барабане-сепараторе при давлении 0,8 МПа пароводяная смесь, поступающая из труб, разделяется на насыщенный пар и воду. Подпитка барабана происходит специально подготовленной (лишенной солей жесткости и растворенных газов) питательной водой с температурой около 100 °С. Насыщенный пар через главную паровую задвижку попадает в общий для всех анодных печей паропровод и далее в электролизный цех на технологические нужды.

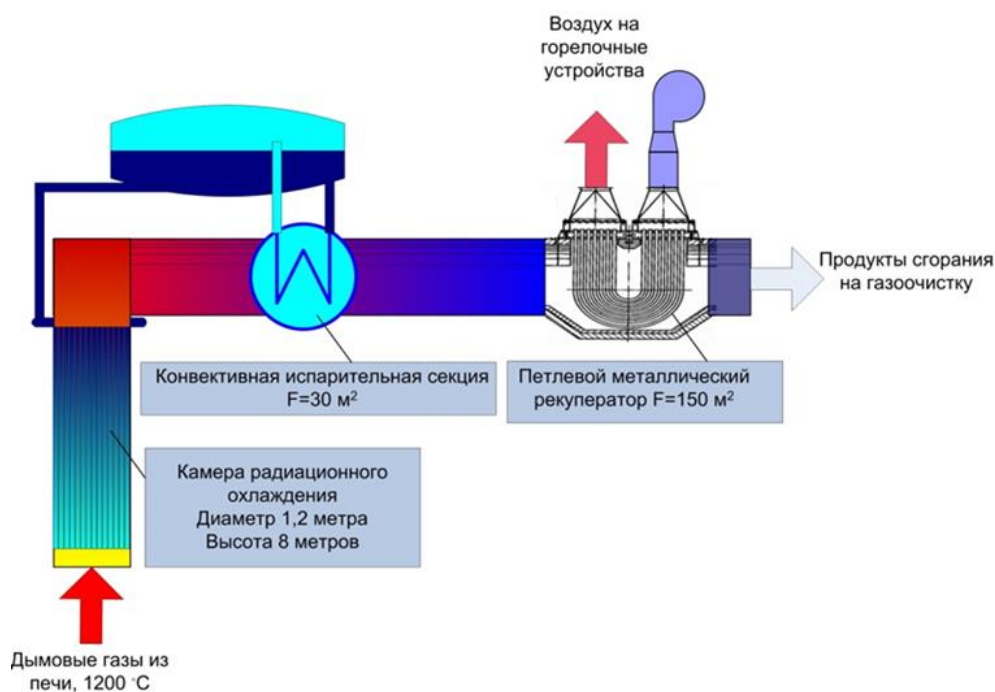


Рис. 1. Конструкция энерготехнологического агрегата до реконструкции

Далее продукты сгорания направляют в конвективную секцию с площадью теплообменной поверхности 30 м². Трубный пучок секции выполнен из 12 рядов с увеличенным до 172 мм поперечным шагом расположения. Наружный диаметр труб, изготовленных из стали 20К, составляет 32 мм. Высокий поперечный шаг

позволяет предотвратить возможное повреждение (прогар) труб вследствие возможного резкого повышения температуры отходящих газов.

Последним теплообменным аппаратом в энерготехнологическом агрегате служит петлевой металлический рекуператор с площадью теплообменной поверхности 150 м^2 .

По данным расчетного теплового баланса печи, средний расход топлива по всем технологическим операциям (загрузка, плавление, окисление, восстановление и разливка) составил $1400 \text{ м}^3/\text{ч}$ природного газа. Средняя температура подогрева воздуха, поступающего из рекуператора в горелки, составляла 210°C . Общая паропроизводительность энерготехнологического агрегата составила $0,581 \text{ кг/с}$ насыщенного пара.

В связи со значительным сокращением потребности электролизного цеха в насыщенном паре, предлагается провести реконструкцию энерготехнологического агрегата (ЭТА) по схеме, приведенной на рисунке 2.

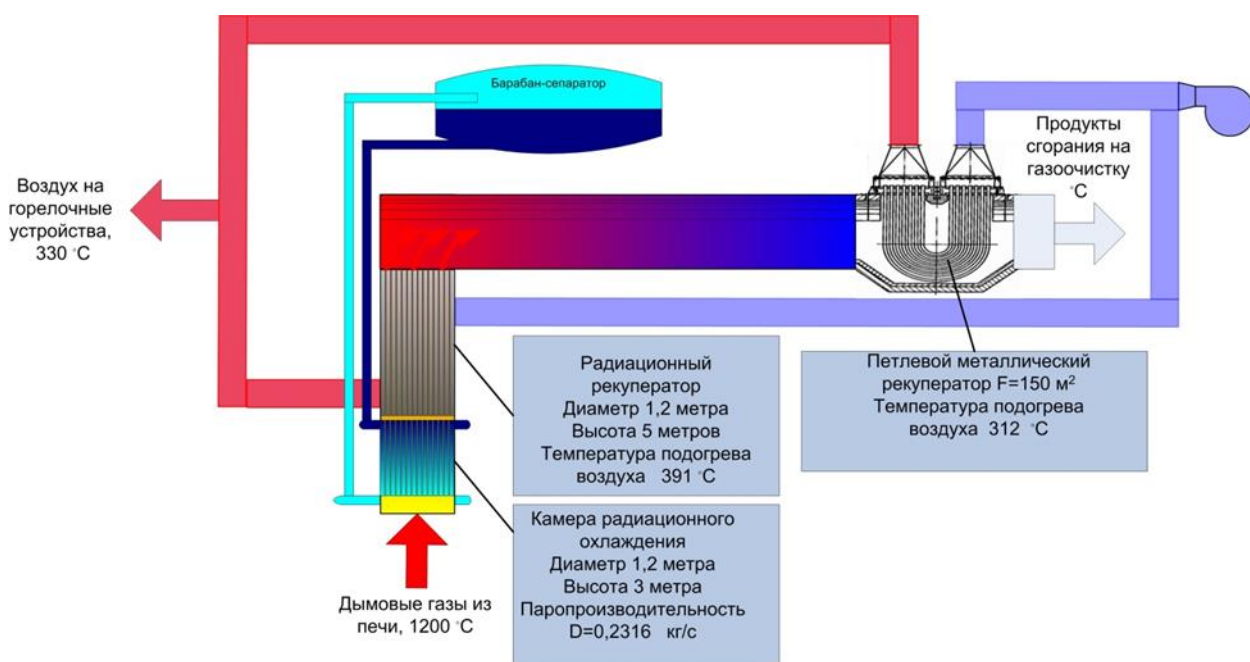


Рис. 2. Предлагаемая реконструкция энерготехнологического агрегата после реконструкции

Согласно представленной схеме, основной целью реконструкции служит перераспределение рекуперированной теплоты продуктов сгорания по теплотехническому, а не энергетическому использованию. Итогом такой реконструкции может быть повышение температуры подогрева воздуха, поступающего в топливосжигающие устройства, но при снижении паропроизводительности. Учитывая тот факт, что на барабан-сепаратор задействованы еще и системы испарительного охлаждения печи, снижение паропроизводительности за счет энерготехнологического агрегата не должно сильно сказаться на его функциональности. Рабочее давление в барабане можно также продолжать поддерживать за счет главной паровой задвижки. Тем не менее полностью демонтировать КРО мы считаем невозможным, так как она

будет выполнять защитную функцию при возможных аварийных ситуациях и резком повышении температуры отходящих газов. Поэтому предлагается значительно сократить высоту камеры радиационного охлаждения – с восьми до трех метров. Общую высоту вертикальной части ЭТА следует оставить неизменной и равной 8 метрам. Таким образом, непосредственно над камерой радиационного охлаждения располагаем радиационный рекуператор высотой 5 метров. Внутренний диаметр КРО и радиационного рекуператора для прохода дымовых газов оставляем прежним и равным 1,2 метра.

В горизонтальной части энерготехнологического агрегата демонтируем конвективную секцию. На первом этапе реконструкции оставляем без изменения петлевой металлический рекуператор.

Первоначально планировалось воздух, подогретый в петлевом рекуператоре, дополнительно нагреть в радиационном рекуператоре при противоточной схеме теплообмена. Однако после предварительных расчетов от такого технического решения пришлось отказаться по причине очень высокой скорости воздуха в трубках радиационного рекуператора (была получена величина порядка 100 м/с). Поэтому было решено часть воздуха от дутьевого вентилятора (см. рис. 2) направить через радиационный, а часть – через петлевой рекуператор. Сократив камеру радиационного охлаждения до 3 метров в высоту, ее паропроизводительность снизилась до значения $D=0,23$ кг/с. Расположив над камерой радиационный рекуператор с противоточным движением теплоносителей высотой 5 метров, подняли температуру подогрева воздуха до 391 °С. Температура подогрева воздуха в петлевом металлическом рекуператоре площадью 150 м² составила 312 °С. Средняя температура воздуха, поступающего в топливосжигающие устройства печи, увеличилась до 330 °С.

По данным анализа расчетного теплового баланса после предлагаемой реконструкции можно отметить, что доля физической теплоты подогретого воздуха возросла с 7,48 % (до реконструкции) до 11,16 % (после реконструкции) в приходной части. Таким образом, расчетная экономия топлива составила 8,4 %, за счет увеличения температуры подогрева воздуха в рекуператорах.

Список использованных источников

1. АО «Уралэлектромедь» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.elem.ru/ru/> - свободный.
2. Рафинирование меди [Текст] / В.П. Жуков, В.С. Спитченко, С.А. Новокрещенов, С.И. Холод. – Екатеринбург: УрФУ, 2013.
3. Производство цветных металлов [Текст] / Н. И. Уткин. – М.: Интермет-Инжиниринг, 2004. – 442 с.
4. Расчеты металлургических процессов производства меди: учебное пособие / Е.И. Елисеев, А.И. Вольхин, Г.Г. Михайлов, Б.Н. Смирнов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 221 с.
5. Теплотехника металлургического производства. Том II конструкция и работа печей [Текст] / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков, В.В.

Кружков, В.В. Кобахидзе, И.А. Прибытков, А.В. Егоров, Ю.П. Филимонов. – Москва, 2002. – 734 с.

6. Пирометаллургия меди [Текст] / В.П. Жуков, Г.В. Скопов, С.И. Холод. – Екатеринбург: Служба оперативной полиграфии АХУ УрО РАН, 2016. – 640 с.

7. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии [Текст] / В.В. Кобахидзе. – Москва, 1994.

8. Тупоногов В.Г. Современные теплообменные аппараты [Электронный ресурс]: Трубчатые и пластинчатые теплообменные аппараты / В.Г. Тупоногов. – Электрон. Дан. - УЭИ, УрФУ. – Режим доступа: <https://media.ls.urfu.ru>. - свободный.

9. Теплофизические свойства веществ: учебное пособие / В.Л. Советкин, Л.А. Федяева. – Свердловск: УПИ, 1990. – 140 с.

УДК 669

Е. В. Лалетина, К. С. Шатохин

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ И ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT

Аннотация. В работе было осуществлено моделирование струйного нагрева с помощью двумерной и трехмерной геометрии, с целью сравнения и выбора лучшей графики, которая позволила бы решить задачу быстрее, с более точными данными. При выборе графики для решения подобных задач необходимо определить постановку задачи, требуемый результат, а также временные рамки. Для решения данной задачи была выбрана программа Ansys Fluent, которая является мощным инструментом в области гидрогазодинамики. Программа Ansys Fluent обладает широким спектром возможностей и преимуществ. К примерам применения программы можно отнести задачи горения в печах, струйный нагрев металла, вентиляция в помещениях, моделирование в промышленных стоках и т.д. Ansys Fluent включает в себя сложные числовые решатели, которые позволяют получать точные результаты практически для любых задач.

Ключевые слова: струйный нагрев, металл, двумерная геометрия, трехмерная геометрия, осесимметричная постановка.

Abstract. In the research, jet heating was simulated using two-dimensional and three-dimensional geometry, in order to compare and select the best graphics that would allow solving the problem faster, with more accurate data. When choosing graphics for solving such problems, it is necessary to determine the formulation of the problem, the required result, and also the time frame. To solve this problem, the Ansys Fluent software was chosen, which is a powerful tool in the field of fluid dynamics. Ansys Fluent has a wide range of features and benefits. Examples of application of the program include the tasks of combustion in furnaces, jet heating of metal, ventilation in rooms, modeling in industrial effluents, etc. Ansys Fluent includes sophisticated numerical solvers that provide accurate results for almost any problem.

Key words: jet heating, metal, two-dimensional geometry, three-dimensional geometry, axisymmetric formulation.