

Выводы.

Реализация проекта по энергетическому использованию древесных отходов для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии значительно уменьшила загрязнение окружающей среды, а также обеспечила потребности завода в электрической энергии на 65...70 и на 100 % в тепловой (при полной загрузке его цехов и запуске в работу гранульного производства).

Энергообследование показало, что котлоагрегаты PRD-9500 имеют резерв для дальнейшего повышения КПД, снижения эмиссии оксида углерода и частиц сажи путем дополнительной настройки системы автоматического регулирования.

Энергетическое использование биотоплив в автоматизированных котлоагрегатах в составе когенерационных установок является актуальным и перспективным направлением как региональной, так и государственной политики.

УДК 004.896

Литература

1. Любов В. К. Комплексное использование древесного сырья в технологическом цикле лесопильного предприятия / В. К. Любов, В. В. Горюнов // Вестник МГУ леса – Лесной вестник. – 2010. – №4. – С. 58–62.
2. Любов В. К. Повышение эффективности энергетического использования биотоплив: Учеб. пособие / В. К. Любов, С. В. Любова. – Архангельск, 2010.
3. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л., 1987.
4. Семенов, Ю. П. Лесная биоэнергетика: Учеб. пособие / [Ю. П. Семенов и др.]. – М., 2008.
5. Borchsenius, H. Black carbon emissions from the district heating sector in the Barents region / H. Borchsenius, D. Borgnes // NORSE ENERGI, Ministry of environment of Norway Project name: RUS-11/0060. – 2013.

С. Ю. Петрушенко

НПО «Новатор» (г. Екатеринбург),

С. В. Ендияров

ОАО «Уралмашизавод» (г. Екатеринбург)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА

В статье описываются математические модели процесса охлаждения железорудного агломерата, используемые системой автоматизированного проектирования охладителей, а так же описание системы автоматического проектирования, позволяющей решать задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства охладителей железорудного агломерата.

Охладитель агломерата, система автоматического проектирования, оптимизация, имитационное моделирование.

The article describes a computer aided design system for a sinter cooler. The system can help to optimize cooler parameters as well as sintering process specifications to achieve specific goals of concrete iron ore sintering cooler.

Cooler of sinter, computer aided design, optimization, simulation.

Введение.

Известно, что производство охлажденного стабилизированного агломерата является эффективным способом уменьшения удельного расхода кокса и повышения производительности доменных печей [2]. Вместе с тем, его использование связано с существенным усложнением схемы обработки аглоспека. Поэтому в типовых технологических схемах первых агломерационных фабрик охлаждение и механическая стабилизация агломерата не предусматривались. Механическая стабилизация агломерата перед загрузкой в доменную печь появилась при внедрении производства охлажденного агломерата и конвейерных трактов его передачи в доменный цех. Однако стабилизация агломерата в перегрузочных узлах конвейерного тракта приводит к образованию большого количества мелочи 5–0 мм непосредственно

перед бункерами доменных печей. Поэтому грохочение агломерата при выдаче из бункеров не позволяет получить желаемое (4–5 %) содержание мелочи в скиповом агломерате.

Основная часть.

При транспортировке агломерата к доменным печам транспортерами с резиновой лентой, допустимая температура нагрева которой не превышает 150 °С, при расчете и организации охлаждения следует исходить из необходимости полного исключения кусков агломерата с температурой выше указанной по условиям службы ленты. Особенно это надо иметь в виду в связи с тенденцией к замене обычной (скиповой) загрузки доменных печей транспортной, лента которой имеет большую длину и стоимость. В этих условиях лучше добавить площадь охлаждаю-

ших агрегатов, чем вывести из строя транспортную загрузку. Техническое решение, направленное на автоматизацию процесса проектирования охладителей в пределах агломерационной фабрики, является важным и эффективным шагом в направлении повышения эффективности применения агломерационного оборудования.

Для решения обозначенных выше проблем была разработана система автоматизированного проектирования охладителей, общая цель которой в рамках жизненного цикла промышленных изделий – решить задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства охладителей для производства агломерата. Это позволит повысить эффективность труда инженеров, включая сокращения трудоемкости проектирования и планирования, сократить сроки проектирования изделия, сократить себестоимость проектирования и изготовление охладителей.

При этом в состав программного комплекса включены следующие модели:

1. Модель охлаждения двухфракционного слоя, т. е. слоя, содержащего куски двух размеров, причем одна фракция значительно мельче другой. С помощью этой модели возможно рассчитать время охлаждения агломерата в конкретных производственных условиях.

Уравнения, связывающие изменение температуры газа с теплоотдачей к материалу, имеют вид:

$$\alpha_1 f_1 (t_1 - T) - C_M \Phi_2 \frac{\partial T}{\partial \tau} = C_T \omega_{r0} \frac{\partial T}{\partial y}$$

$$\alpha_1 f_1 (t_1 - T) = -C_M \Phi_1 \frac{\partial t_1}{\partial \tau},$$

где T, t_1 – температура газа и агломерата, Φ_1, Φ_2 – содержание мелкой и крупной фракции в объеме, ω_{r0} – скорость фильтрации газа, f_1 – поверхность нагрева фракции, C_T, C_M – теплоемкость газа и агломерата, α_1 – коэффициент теплоотдачи конвекцией к поверхности крупного куска.

2. Модель охлаждения всего агломерата как двухфракционного, состоящего из мелких частиц и «крупных», дает заниженное время охлаждения, так как время, необходимое для охлаждения кусков диаметром более среднего, может оказаться при определенных условиях значительно больше. С целью учета данного явления была разработана математическая модель, представляющая собой трехмерное уравнение теплопроводности. Наличие чрезмерно крупных кусков агломерата в охлаждаемом слое приводит к недостаточному охлаждению их внутренних объемов из-за высокого термического сопротивления. К концу периода охлаждения поверхность таких кусков приобретает иногда температуру, близкую к температуре окружающего воздуха. Однако при выгрузке крупные куски нередко разламываются на части, при этом обнаруживается неохлажденная сердцевина, температура которой достигает более

200–300 °С. Такие куски вызывают прогары прорезиненной ленты конвейеров, предназначенных для транспортировки охлажденного агломерата, а также приводят к неудовлетворительным санитарно-гигиеническим условиям на тракте транспортировки, грохочения и погрузки.

Математическая формулировка задачи имеет следующий вид:

1. Уравнение теплопроводности с учетом фильтрации:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial F_0} = -M \frac{\partial \vartheta}{\partial X_3} + K_x^2 \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial X_1^2} + K_y^2 \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial X_2^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial X_3^2}.$$

2. Граничные условия:

$$X_3 = 0, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_3} = Bi_0 (\theta' - \vartheta);$$

$$X_3 = 1, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_3} = Bi_1 (\theta' - \vartheta)$$

$$X_2 = 0, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_2} = 0;$$

$$X_1 = 1, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_2} = Bi_2 (\theta' - \vartheta)$$

$$X_1 = 0, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_1} = 0;$$

$$X_1 = 1, \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial X_1} = Bi_3 (\theta' - \vartheta)$$

3. Начальные условия:

$$F_0 = 0, \quad \vartheta = 1$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$\vartheta(F_0, X_1, X_2, X_3) = \frac{t - T'}{t_0 - T'} \quad \text{— температура агломерата;}$$

$$\theta'(F_0) = \frac{T - T'}{t_0 - T'} \quad \text{— температура воздуха, омывающего кусок;}$$

$$X_1 = \frac{x_1}{x_0}; \quad X_2 = \frac{x_2}{y_0}; \quad X_3 = \frac{x_3}{z_0} \quad \text{— нормализованные координаты точки;}$$

$$F_0 = \frac{a\tau}{Z_0^2} \quad \text{— критерий Фурье (безразмерное время процесса);}$$

$$K_x = \frac{Z_0}{X_0}; \quad K_y = \frac{Z_0}{Y_0} \quad \text{— геометрические симплексы;}$$

$$M = \frac{C_T \omega_{\Phi 0} Z_0}{\lambda_m} \quad \text{— критерий, характеризующий перенос тепла воздухом, фильтрующимся со скоростью}$$

$$\omega_{\Phi 0};$$

$$Bi_0 = Bi_1 + M = \frac{\alpha_1 Z_0}{\lambda_m} + \frac{C_1 w_{f0} Z_0}{\lambda_m} - \text{обобщенный}$$

критерий Био;

$$Bi_1 = \frac{\alpha_1 Z_0}{\lambda_m}; \quad Bi_2 = \frac{\alpha_2 Y_0}{\lambda_m}; \quad Bi_3 = \frac{\alpha_3 X_0}{\lambda_m} -$$

критерии Био;

α_j – коэффициенты теплоотдачи граней куска, λ_m – теплопроводность материала, a – температуропроводность, Z_0 – размер куска агломерата.

3. Модель оптимизации основных параметров охладителя и процесса охлаждения.

При этом целями оптимизации являются:

1. Снижение металлоемкости. Снижение металлоемкости – одна из целей, достижение которой позволяет снизить стоимость изготовления охладителя.

2. Время нахождения материала на ленте должно быть как можно ближе к времени его остывания до заданной температуры. Температура агломерата на разгрузке должна быть как можно ниже.

3. Потери напора воздуха должны быть минимальны и находиться в пределах, позволяющих использовать существующие тягодутьевые средства. Скорость процесса охлаждения продуктов окускования зависит от количества воздуха, просасываемого через слой, и условий теплообмена между воздухом и кусками насыпной массы материала. При прочих равных условиях количество просасываемого воздуха зависит от газопроницаемости слоя. Достижение равных скоростей фильтрации воздуха в слоях, обладающих различной газопроницаемостью, возможно лишь при различных значениях перепадов давления.

Установка с более мощным вакуумно-дутьевым аппаратом имеет высокий расход электроэнергии, недостаточная мощность приводит к тому, что система охлаждения оказывается неработоспособной. В связи с этим необходима тщательная оценка газопроницаемости слоя, обеспечивающая возможность оптимизировать процесс охлаждения.

4. Охладитель должен обеспечивать заданную производительность по годовому агломерату.

5. Охладитель должен удовлетворять проектным размерам.

Функционально разработанный программный комплекс включает в себя следующие подсистемы:

1. Подсистема визуализации. Осуществляет 3D визуализацию процесса охлаждения агломерата с отображением текущего состояния (отображение контура охлаждаемого аглоспека, распределение температур в объеме аглоспека) за произвольный период охлаждения (рис. 1).

Кроме того, подсистема позволяет отображать основные конструктивные и режимные параметры работы охладителя агломерата, в том числе распределение температур по длине охладителя от момента загрузки (рис. 2), осуществлять 2D визуализацию двухфракционного слоя агломерата по высоте, с течением времени [1].

2. Подсистема оптимизации. Производит оптимизацию процесса выбора конструктивных параметров охладителя, при этом учитываются следующие критерии: производительность охладителя, металлоемкость, температура агломерата на разгрузке, время охлаждения, эффективная площадь охлаждения, газопроницаемость слоя (рис. 3) [3].

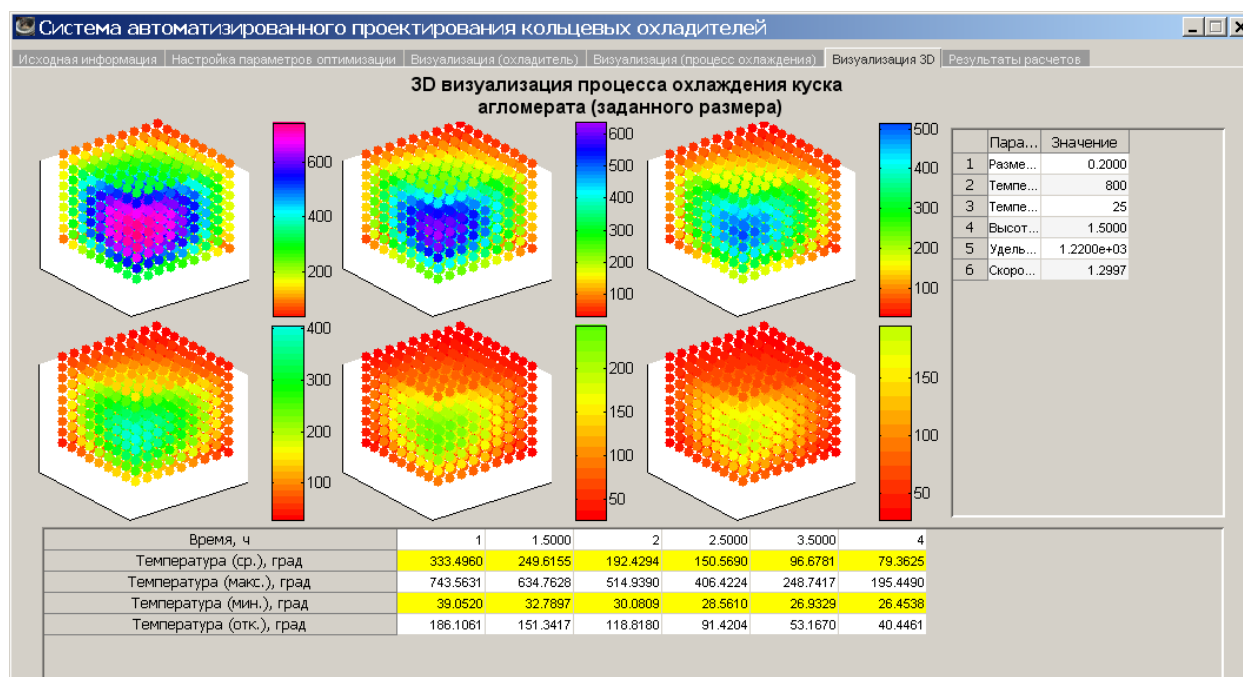


Рис. 1. Форма 3D визуализации процесса охлаждения

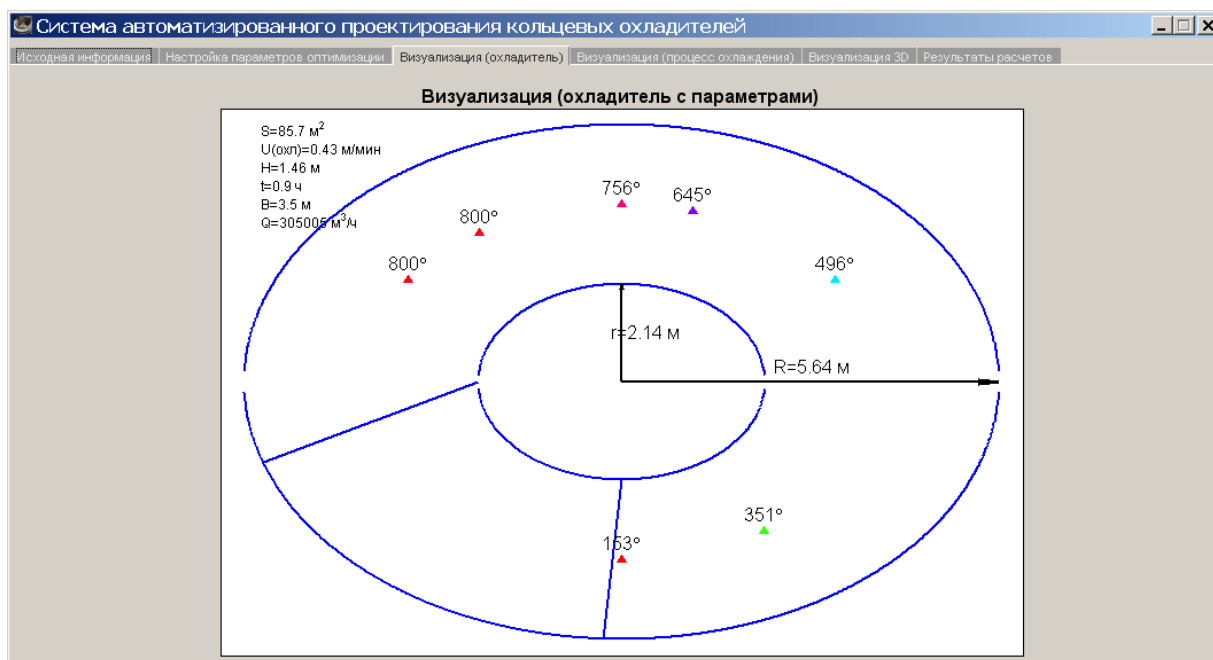


Рис. 2. Основные конструктивные и режимные параметры работы кольцевого охладителя агломерата после оптимизации

Рис. 3. Форма ввода параметров оптимизации

3. Подсистема имитационного моделирования. Позволяет моделировать процесс охлаждения агломерата в охладителе для конкретных условий производства.

4. Подсистема генерации отчетов. Позволяет формировать отчеты, включающие результаты оптимизации, моделирования, визуализации.

Выводы.

При современных масштабах производства металла и непрерывном росте единичной мощности агрегатов правильный выбор рационального способа охлаждения и оборудования имеет немаловажное

значение. Это связано с тем, что на сегодняшний день отсутствуют известные отечественные комплексы автоматического проектирования охладителей агломерата, удовлетворяющие требованиям европейских стандартов качества. Комплексная автоматизация проектирования агломерационного оборудования позволяет внести такие изменения в структуру проектных предприятий, которые соответствуют целям автоматизации: сокращению материальных и временных затрат, повышению качества проектирования, сохранению численности инженерно-технических работников на прежнем уровне, несмотря на усложнение проектируемых объектов.

Кроме того, автоматизированные комплексы проектирования позволяют вывести аглодоменное производство на новый уровень развития, тем самым повышая его конкурентоспособность.

Разработанная система проектирования охладителей позиционируется как универсальный комплекс, использование которого возможно как для производства агломерата, так и производства окатышей. На данный момент система используется сотрудниками ОАО «Уралмашзавод» для формирования технико-коммерческих предложений и обоснования технических решений по реконструкции аглофабрик России и зарубежья. С применением разработанной системы в 2014–2015 гг. было проведено обоснование модернизации линейных охладителей

агломерата для аглофабрики предприятия «Раштрия Испат Нигам Лимитед» (Индия, г. Визакхапатнам).

Литература

1. *Ендияров, С. В.* Диагностика процессов подготовки и производства агломерата / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко. – LAP: Lambert Academic Publishing, Germany, 2013.
2. *Ендияров, С. В.* Система автоматизированного проектирования кольцевых охладителей / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко, С. В. Омельченко // Сталь. – 2014. – №6. – С. 75–79.
3. *Ендияров, С. В.* Система диагностики и управления процессом подготовки и производства железорудного агломерата / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №10. – Октябрь. – С. 65–68.

УДК 628.87

М. В. Пророкова, В. В. Бухмиров

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И КАЧЕСТВО МИКРОКЛИМАТА

Предложен метод оценки качества микроклимата, который учитывает достоинства и недостатки существующих методов и может быть использован при проектировании и настройке систем отопления, вентиляции и кондиционирования зданий с учетом требований энергосбережения и энергоэффективности.

Энергосбережение, качество микроклимата, уровень комфортности микроклимата.

The authors developed the method for estimating the microclimate, taking into account the advantages and disadvantages of the existing methods for assessing microclimate. The method can be used for constructing the systems of heating, ventilation and air conditioning of buildings subject to the requirements for energy saving.

Energy saving, microclimate quality, microclimate comfort level.

Введение.

Энергосбережение в последние десятилетия стало актуальной проблемой для всего мира. Решение данной задачи связано не только с улучшением экологии, но и с обеспечением энергетической безопасности отдельных государств. При этом для стран с ограниченными запасами топливных ресурсов энергетическая безопасность означает снижение зависимости экономики от импорта топлива, а для ресурсодобывающих стран, в том числе, для России, она состоит в обеспечении растущего внутреннего спроса на энергоресурсы за счет более эффективного использования той энергии, которая уже производится, а не за счет увеличения добычи топлива и строительства новых источников тепло- и электроснабжения.

В настоящее время Россия занимает третье место в мире по объему энергопотребления (после США и Китая), а энергоемкость ВВП является самой высокой в десятке стран – крупнейших потребителей энергии [1]. Высокий показатель энергоемкости связан не только с расположением значительной части территории России в холодной климатической зоне, но и с преобладанием тяжелой промышленности в

экономике страны. Однако, по оценкам специалистов [6], даже с учетом всех этих факторов потребление энергии в России все же приблизительно на 20 % выше, чем в странах с аналогичным уровнем доходов, климатическими характеристиками и структурой промышленности.

Основная часть.

Высокая энергоемкость РФ свидетельствует о неэффективном использовании энергоресурсов, оказывает негативное влияние на экономику России, ее энергетическую безопасность, на окружающую среду и здоровье ее граждан. Как отмечают специалисты [6], реализация потенциала энергосбережения может привести к экономии до 45 % полного потребления энергии.

Анализ литературы по данному вопросу позволил сформулировать четыре принципа, определяющих политику энергосбережения в России [5]:

1. Энергоресурсы имеют большое значение как для улучшения качества жизни россиян, так и для обеспечения энергетической безопасности и независимости страны.