представляется важным системное решение вопросов подготовки специалистов общественного питания и обязательности выполнения требований действующих нормативных документов в области обеспечения безопасности пищевой продукции на основе принципов HACCP.

1. А.Д. Дмитриев, Г.О. Ежкова, Д.А. Дмитриев. Управление качеством пищевой продукции на принципах HACCP в системе общественного питания : учебное пособие / А.Д. Дмитриев [и др.]; М-во образ. и науки России, Казан. Нац.исслед. технол. ун-т – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. - 202 с.
2. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»
3. Giampaoli, J., Sneed, J., Cluskey, M., & Koenig, H. (2002). School foodservice directors' attitudes and perceived challenges to implementing food safety and haccp programs. The Journal of Child Nutrition & Management, 26. Available: <http://www.asfsa.org/childnutrition/jcnm/02spring/giampaoli1/>. Accessed: February 11, 2003
4. Roberts, K., & Sneed, J. (2003). Status of prerequisite and HACCP program implementation in Iowa restaurants. Food Protection Trends. 23, 808 - 813.
5. Youn, S., & Sneed, J. (2003). Implementation of HACCP and prerequisite programs in school foodservice [Electronic version]. Journal of the American Dietetic Association, 103, 55 - 60.

Дударовская О.Г.

**Повышение эффективности теплообмена в аппаратах
при турбулентном режиме работы**

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-186

idsp: 000001:lj-10-2018-186

Аннотация

Настоящая статья посвящена повышению эффективности теплообмена при проведении процесса на турбулентном режиме. Рассмотрены следующие методы интенсификации: применение насадочных элементов и оребренной поверхности. В качестве базовой поверхности принят гладкий канал (без интенсификатора). Выполнены расчеты и построен график зависимости чисел Нуссельта от числа Рейнольдса (режима движения) для гладкой поверхности трубы и для рассматриваемых интенсификаторов теплообмена. Выбраны наиболее эффективные методы интенсификации.

Ключевые слова: насадочные элементы, оребрение, повышение эффективности.

Abstract

The present article is devoted to increase in efficiency of heat exchange when carrying out process on the turbulent mode. The following methods of an intensification are considered: application of nozzle elements and orebrenny surface. As a basic surface the smooth channel is accepted (without intensifier). Calculations are executed and the schedule of dependence of numbers of Nusselt on Reynolds number (the mode of the movement) for a smooth surface of a pipe and for the considered heat exchange intensifiers is constructed. The most effective methods of an intensification are chosen.

Keywords: nozzle elements, fins, increase in efficiency.

Эффективным способом повышения эффективности теплообменных аппаратов является улучшение их конструкций с применением интенсифицированных поверхностей.

Весьма эффективными методами интенсификации являются так называемые пассивные методы, направленные на разрушение ламинарного подслоя и изменение

структуры пристеночного течения теплоносителя. Например, к ним относятся: вставные интенсификаторы, турбулизирующие вставки, насадки, спиральные и витые трубы [1].

В данной статье с целью повышения эффективности теплообмена в аппаратах, работающих на турбулентном режиме, рассмотрены следующие методы интенсификации теплообмена:

1) Применение насадочных элементов в качестве инструмента интенсификации процессов переноса тепла.

2) Увеличение площади поверхности теплообмена посредством оребрения.

Для решения поставленной задачи необходимо определить коэффициенты теплоотдачи, для этого запишем выражения с применением безразмерного комплекса Нуссельта.

На основе ранее разработанной модели пограничного слоя с функцией турбулентной вязкости с учетом затухания турбулентных пульсаций в вязком подслое записано [2] выражение числа Нуссельта для канала, заполненного хаотичным насадочным слоем, и имеет вид

$$Nu_{\eta} = \frac{1,85 \cdot Re_{\eta}^{0,75} Pr^{0,333} \cdot (\xi / 2)^{0,25}}{1,48 \cdot Re_{\eta}^{0,125} / \xi^{0,25} + 2,5 \ln \left(4 \cdot Re_{\eta}^{0,125} \cdot \xi^{0,5} \right)}, \quad (1)$$

где $Re_{\eta} = u_{cp} \cdot d_{\eta} / \nu$ – эквивалентное число Рейнольдса; Pr – число Прандтля; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления; $u_{cp} = u_0 / \varepsilon_{cb}$ – средняя скорость среды в насадке, м/с; u_0 – скорость среды, м/с; $d_{\eta} = 4 \cdot \varepsilon_{cb} / a_v$ – эквивалентный диаметр насадки, м; ε_{cb} – свободный объем насадки, м³/м³; a_v – удельная поверхность насадки, м²/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Выражение коэффициента гидравлического сопротивления для кольцеобразных насадок имеет вид [3]

$$\xi = \frac{16}{Re_{\eta}^{0,2}}. \quad (2)$$

Число Нуссельта для оребренной поверхности находим из выражения [4]

$$Nu = 0,021 \cdot Re_d^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot h \cdot \beta - \delta}{S} \right), \quad (3)$$

где $Re_d = u_0 \cdot d / \nu$ – число Рейнольдса; h – высота ребра, м; δ – толщина ребра, м; β – характеристика эффективности прямых продольных ребер; S – шаг ребра по окружности канала (трубы), м.

Значение характеристики эффективности прямых продольных ребер определяется как [4]

$$\beta = \frac{\text{th}(mh)}{mh}, \quad (4)$$

где $\text{th}(mh)$ – гиперболический тангенс произведения mh , определяемый по табличным данным [5], m – рассчитывается по формуле

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\delta \lambda_p}}, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи в канале (трубе), Вт/(м²·К), λ_p – коэффициент теплопроводности материала ребра, Вт/(м·К) [6].

Шаг ребер по окружности канала (трубы) определяем из выражения [4]

$$S = \frac{\pi \cdot d_n}{n}, \quad (6)$$

где d_n – наружный диаметр канала (трубы), м; n – число прямых продольных ребер.

В качестве базовой поверхности принимаем гладкий канал (труба без интенсификатора).

Запишем число Нуссельта для гладкого канала (трубы) без интенсификатора (при $Re_d = 4 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^5$) [5]

$$Nu_d = 0,021 \cdot Re_d^{0,8} \cdot Pr^{0,43}. \quad (7)$$

Рассматриваемые интенсификаторы:

1) кольцеобразная насадка Палля (разм. 12,5 мм), с техническими характеристиками: $d_s = 0,033$ м, $a_v = 110$ м²/м³, $\varepsilon_{св} = 0,92$ м³/м³ [3];

2) нанесение оребрения на поверхность теплообмена ($h = 0,015$ м; $\delta = 0,001$ м; $n = 22$).

По представленным выражениям проведены расчеты, результаты которых представлены в виде зависимости теплоотдачи от режима течения Re_d для рассматриваемых методов интенсификации при турбулентном режиме течения среды (рис.1).

Рисунок 1. Средняя теплоотдача в зависимости от режима течения Re_d для различных методов интенсификации: 1 – в канале, заполненном хаотичным насадочным слоем (кольца Палля); 2 – в канале (трубе) с оребренной поверхностью; 3 – в канале (трубе) без интенсификатора.

Насадочные элементы, как интенсификаторы теплообмена, показывают наилучшие значения. Это объясняется принципом действия насадочных элементов в канале. Они сами по себе не участвуют в теплообмене и не увеличивают поверхности теплопередачи, их использование позволяет развить поверхность контакта и улучшить перемешивание потоков, что приводит к непосредственному разрушению и турбулизации самого пограничного слоя.

Нанесение оребрения на поверхность наиболее выгодно при значениях чисел Рейнольдса $Re > 7000$, а при $Re < 7000$ уступает насадочным элементам.

Таким образом, из проведенных исследований можно рекомендовать применение насадочных элементов с целью повышения эффективности теплообмена в аппаратах, работающих на турбулентном режиме.

Также к преимуществам применения насадочных элементов является то, что их засыпка может выполняться в обычные теплообменные аппараты при небольших конструктивных изменениях.

1. Лаптев А.Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов / А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров. – Москва: Теплотехник, 2011. – 288 с.

2. Дударовская О.Г. Модели интенсифицированного тепломассообмена и смешения сред в каналах с хаотичными насадочными слоями: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2016. – 202 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. М.: Химия, 1976. 656 с.
4. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А.И. Скобло, И.А. Трегубова, Н.Н. Егоров. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 652 с.
5. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 237 с.
6. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерман, Е.Н. Судаков. – Л.: Химия, 1974. – 344 с.

Жариков И.Ф.

Элементы карьерной дробильной установки в схемах ЦПТ

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-10-2018-187

idsp: 000001:lj-10-2018-187

Аннотация.

Рассматривается наиболее эффективная циклично-поточная технология добычи угля на глубоких карьерах при полной конвейеризации транспорта с использованием самоходных дробильных агрегатов. На основе анализа эксплуатации карьерных дробильных установок предлагается метод определения оптимальной вместимости приемного бункера, которая должна быть достаточной для «сглаживания» неравномерности поступления автосамосвалов на разгрузку.

Ключевые слова; циклично-поточная технология, грузоподъемность самосвала, объем ковша, гранулометрический состав, взорванная горная масса, вместимость, бункер.

Рост объемов добычи полезных ископаемых открытым способом и связанные с этой тенденцией задачи дальнейшей интенсификации горных работ, увеличения глубины карьеров и повышения производительности труда определили актуальность создания и внедрения в горное производство дробильно-конвейерного оборудования для схем циклично-поточной технологии разработки скальных пород. При полной конвейеризации транспорта производительность современных самоходных дробильных агрегатов, работающих в паре с одно ковшовым экскаватором, должна соответствовать перспективным моделям карьерных экскаваторов-мехлопат с ковшом вместимостью 20-35 м³. В условиях разработки полускальных вскрышных пород IV категории, характерных для угольных месторождений, при расчетной плотности экскавируемых пород 2500 кг/м³, коэффициенте разрыхления 1,5 и коэффициенте заполнения ковша 0,9 производительность экскаватора ЭКГ-20 с ковшом вместимостью 20 м³ составляет 3870 т/ч. Производительность конвейерной линии и дробильной установки должна приниматься не менее чем на 10% выше производительности экскаватора ЭКГ-20 [1]. В этом случае производительность соответствующего самоходного дробильного агрегата должна составлять около 4300 т/ч. Однотипная передвижная карьерная дробильно-перегрузочная установка, предназначенная для использования в схемах с комбинированным автомобильно-конвейерным транспортом, также имеет производительность 4300 т/м³ и должна обеспечивать прием горной массы от автотранспорта грузоподъемностью 75-100 т.

Дробильно-перегрузочная установка, являясь связующим звеном между автомобильным и конвейерным видами транспорта, обеспечивает подготовку горной массы к конвейерному перемещению. Приемный бункер установки выполняет роль демпфирующего элемента системы, преобразующего дискретный поток горной массы, подвозимой автосамосвалами, в непрерывный поток. Вместимость приемного бункера