

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference
March 15-16, 2017**

Алматы, 2017

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта 2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплохладоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

УДК 620.97

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА В ТЕПЛООБМЕННИКЕ С ГРАНУЛИРОВАННОЙ НАСАДКОЙ

*Ряшко Г.М., к.т.н., Солодка А.В., аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина
E-mail: a_solodkaya@mail.ru, rina257@gmail.com*

Промышленные производства, непосредственно связанные с термообработкой, таких как обжиг извести, керамических изделий, производстве кирпича, стекла, огнеупоров и других изделий, а также в ряд пищевых производств, отличаются высокими потерями теплоты, которые могут достигать 40...50 % от подводимой мощности [1,2]. Рабочие температуры тепловых выбросов в технологических процессах этих отраслей колеблются в пределах 50...200 °С, что говорит о наличии потенциала для утилизации теплоты. Повысить эффективность производственных процессов можно за счет утилизации их вторичных энергоресурсов, общий потенциал которых для химической, пищевой и строительной промышленности оценивается в несколько миллионов тонн условного топлива [3,4]. Наибольшую популярность в системах утилизации теплоты получили регенерационные теплообменники различных конструкций [3]. Главными задачами при их проектировании и эксплуатации становятся определение целесообразных конструктивных и режимных параметров, позволяющих достигать максимального значения теплоты, полученной единицей массы воздуха. Подобные задачи сталкиваются с проблемой их решения при использовании известных методов расчета, в которых вместо актуальных значений температур теплоносителей прибегают к значениям, осредненным по длине канала и времени цикла, а также ряд других обобщающих допущений. Преимущественно это относится к нетрадиционным конструкциям регенеративных теплообменников, позволяющих преодолеть существующие технологические ограничения [5].

К одному из типов таких теплообменников относится регенератор с гранулированной насадкой [6, 7, 8]. Он характеризуется тем, что в нем поток сыпучего материала сначала проходит через камеру нагрева, поглощая теплоту горячего газа и нагревается, а затем через камеру охлаждения, где передает полученное тепло поступающему холодному воздуху и нагревает его, после чего снова элеватором подается в камеру нагрева. Достоинства применения гранулированной (дисперсной) насадки обусловлены такими свойствами, как развитая поверхность межфазного теплообмена, высокие коэффициенты теплоотдачи, способность частиц к самоочистке от загрязнений и т.д. [8]. Однако недостаточная изученность межфазных процессов теплообмена в слое дисперсного материала не позволяет разработать методику инженерного расчета теплоутилизаторов подобного типа, что препятствует их широкому распространению в промышленности.

К задачам исследования относились: экспериментальное изучение процессов теплообмена между нагретым воздухом и гранулированным материалом, помещенным в рабочую камеру, обоснование выбора материала при конструировании теплоутилизаторов с гранулированными насадками, а также формулировка рекомендаций к установлению рациональных режимов.

Определение эффективности теплообмена между слоем гранулированного материала как основы теплообменника-теплоутилизатора проводилось на основе экспериментальных данных, получаемых на установке (рис. 1), разработанной непосредственно для данных исследований.

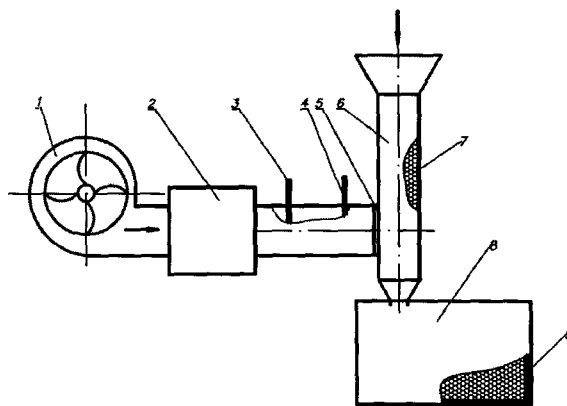


Рисунок 1 – Установка для экспериментального исследования теплообмена в плотном слое гранулированного материала, 1 – вентилятор; 2 – нагреватель; 3 – термометр; 4 – датчик скорости воздуха; 5 – сетка; 6 – бункер; 7 – дисперсный материал; 8 – емкость сбора дисперсного материала; 9 – изоляция

Эксперименты проводились с неподвижной и движущейся в виде плотного слоя насадкой при различных режимных параметрах: температуры воздуха на входе, температуры материала, скорости движения слоя и воздуха. Оценка энергетической эффективности процесса теплообмена проводилась на основании тепловых расчетов по методикам [9] и известным зависимостям для расчета тепловых потерь и определения теплофизических характеристик [10].

В качестве гранулированного материала исследовался керамзит и гравий (размер частиц: 10...20 мм).

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. В рабочую камеру 6 загружался гранулированный материал. Включался вентилятор 1 и нагреватель 2, после которого нагретый воздух поступал в рабочую камеру. Контролировалась температура воздуха на входе и скорость потока, температура воздуха на выходе. Температура материала определялась в течение опыта с помощью термопары, расположенной в центре камеры. Эксперимент проводился с трехкратным повторением. Средняя скорость фильтрации воздуха составляла $w = 0,9...3,5$ м/с, диаметр воздуховода $d = 0,1$ м.

Исследования проводили для двух видов материалов предполагаемой насадки для теплоутилизатора: керамзит и гравий с диаметром частиц 0,02...0,03 м [11]. Схема движения теплоносителя и гранулированного материала при исследовании движущегося слоя – противоток.

На рис. 1 представлены результаты измерения температур керамзита для движущегося (рис. 1а) и неподвижного (рис. 1б) слоя на входе в рабочую камеру и воздуха – на выходе из нее. Сплошной линией указана температура воздуха на входе. Скорость движения слоя материала: $W_m = 0,00067$ м/с, средняя скорость движения воздуха: $W_v = 0,85$ м/с.

На основе предыдущих экспериментальных исследований [11] была получена зависимость температуры насадки на выходе камеры нагрева при различной высоте слоя материала, которая позволила определить оптимальное значение высоты канала, которое находится в пределах 0,4...0,5 м. Высота засыпки гранулированного материала была одинакова: $L = 0,50$ м.

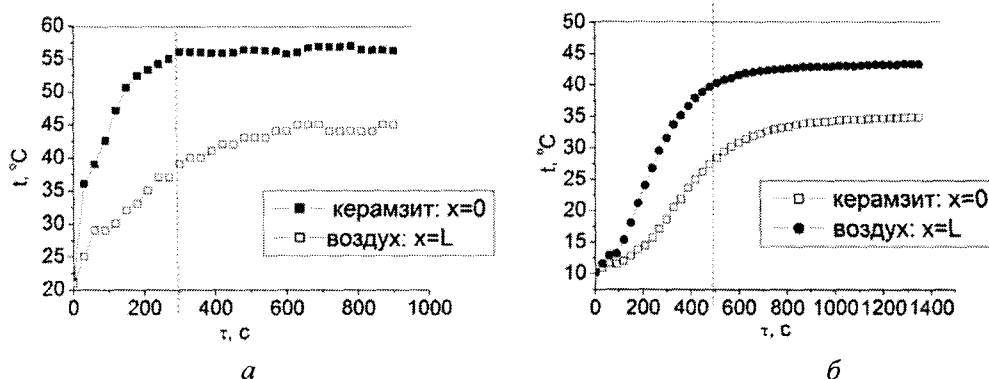


Рисунок 2 – Изменение температур воздуха и керамзита во времени. а – движущийся слой, б – неподвижный слой.

Видно, что, начиная с определенного промежутка времени, устанавливается стационарный режим, при котором температуры материала практически не меняются. Для движущегося слоя этот режим начинается при $\tau = 300$ с, для неподвижного – при $\tau = 500$ с (на графике отмечены пунктирной линией). Можно сделать вывод, что интенсивность теплообмена выше для движущегося слоя. Следует отметить существующее различие в разности температур между температурой материала и воздуха в одном сечении для движущегося и неподвижного слоя.

В процессе работы температура воздуха на выходе повышается, т.е. эффективность теплообмена снижается, что для практического применения является нежелательным явлением, которое следует учитывать при выборе рабочих параметров теплоутилизатора.

На рис. 2 представлены результаты экспериментов по нагреву гравия в движущемся (рис. 2а) и неподвижном (рис. 2б) слое.

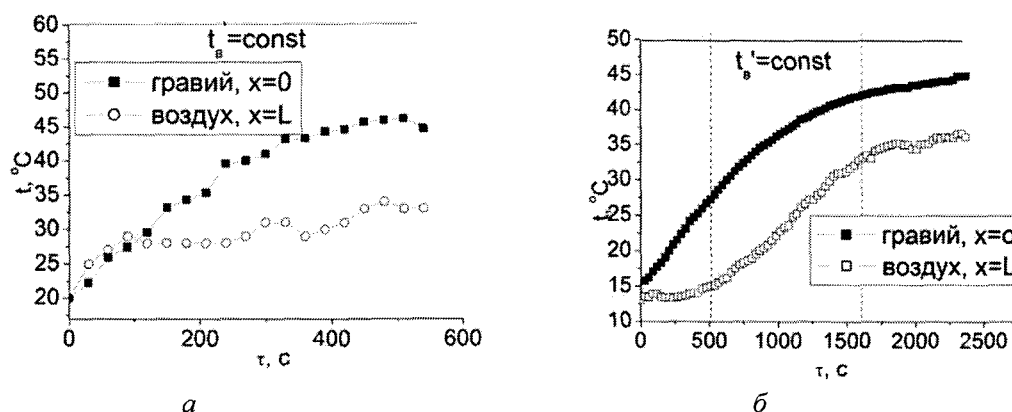


Рисунок 3 – Изменение температур воздуха и гравия во времени.
а – движущийся слой, б – неподвижный слой

В отличие от опытов с керамзитом (рис. 2), участка тепловой стабилизации не наблюдалось, что свидетельствует о более продолжительном во времени участке нестационарного теплообмена.

Как свидетельствует график рис. 3б, в неподвижном слое можно выделить три участка температурной зависимости для воздуха (отмечены пунктирными линиями):

1. до 500 с температура воздуха на выходе повышалась очень незначительно ($\Delta t_{\text{неп.1}} = 15 - 13 = 2$ °C).

2. 500...1530 с температура повысилась на $\Delta t_{\text{неп.2}} = 31,6 - 15 = 16,6$ °C,

3. 1540...2370 с – повышение температуры на $\Delta t_{\text{неп.3}} = 36,1 - 31,6 = 4,5$ °C.

Интенсивность теплообмена на каждом из этих участков различна.

На рис. 3 представлены температурные кривые для сравнительного анализа интенсивности нагрева гравия и керамзита в движущемся (рис. 4а) и неподвижном (рис. 4б) слое.

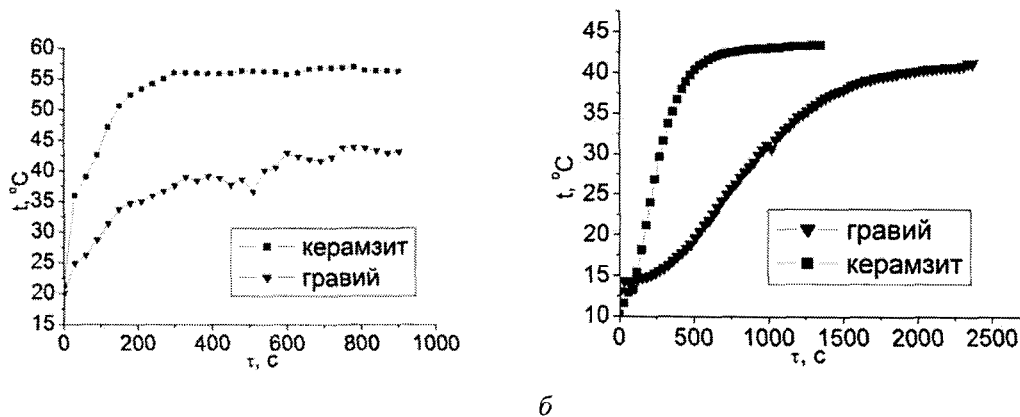


Рисунок 4 – Изменение температур керамзита и гравия во времени:
а – движущийся слой, б – неподвижный слой

Видно, что, как в движущемся, так и в неподвижном слое керамзит нагревался интенсивнее гравия, что поясняется их разными физическими свойствами – теплоемкостью и плотностью материала.

На основе тепловых расчетов по методикам [9] был произведен расчет коэффициента теплоотдачи для гравия и керамзита в движущемся и неподвижном слое (рис. 5).

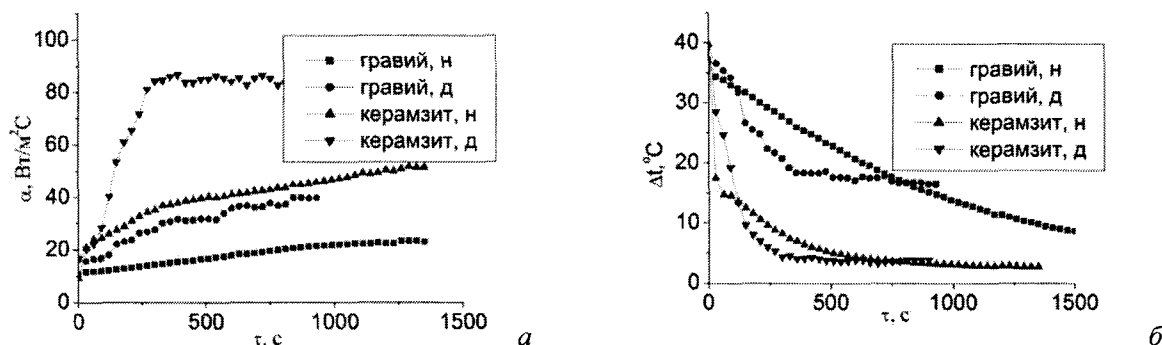


Рисунок 5 – Изменение коэффициента теплоотдачи (а) и температурного напора (б) между воздухом и плотным слоем керамзита и гравия во времени: д – движущийся слой, н – неподвижный слой

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что экспериментальные данные удовлетворительно коррелируются с теоретическими для движущегося и неподвижного слоя гранулированного материала.

Экономия энергетических ресурсов промышленных производств является определяющим фактором повышения конкурентоспособности продукции и снижения загрязняющего воздействия на окружающую среду. Использование теплообменника-утилизатора с гранулированным наполнителем позволяет частично решить эту проблему за счет интенсификации передачи тепла при большой совокупности дисперсных частиц, которые участвуют в теплообмене.

Конструкция и принцип работы предложенного теплообменника-теплоутилизатора делает его многофункциональным и позволяет обойти ряд проблем, присущих для существующих теплообменных утилизаторов.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать к использованию в теплообменнике-теплоутилизаторе материал с достаточным значением плотности и теплоемкости типа керамзита и гравия. При этом керамзит предпочтителен, поскольку показывает более высокие значения теплоотдачи в процессе проведения экспериментальных исследований. Интенсивность теплообмена выше для движущегося слоя гранулированного материала, поэтому дальнейшие исследования будут направлены на разработку метода расчета регенеративного теплообменника с дисперсными системами и внедрение его в производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курчев, А.О. Моделирование тепловых процессов в регенеративных утилизаторах теплоты с фазовыми переходами в насадке [Текст] / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.17.08- Процессы и аппараты химических технологий. – Иваново: 2010. – 19 с
2. Ковалёв, А. В. Эффективность утилизации теплоты и экономия топлива в хлебопекарных печах [Текст] / А.В. Ковалев, В.А. Анистратенко, В.Ю. Осауленко // Хлебопечение России. – 2003. - № 5. – С. 8 – 40.
3. Комаров, В. И. Проблемы использования вторичных сырьевых ресурсов отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности и их влияние на окружающую среду [Текст] / В.И. Комаров, Е.И. Лебедев, Т.А. Мануйлова // Хранение и переработка сельхозсырья. - 1998. - N2. - С. 6-10
4. Медведев, В.Б.. Моделирование и расчет тепловых процессов в регенеративных утилизаторах теплоты с циркулирующей гранулированной насадкой / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.17.08- Процессы и аппараты химических технологий. – Иваново: 2009. – 17 с.
5. Астановский, Д.Л. Использование теплообменных аппаратов новой конструкции в теплоэнергетике [Текст] / Д.Л. Астановский, Л.З. Астановский. // Теплоэнергетика. – 2007. – №7 – С.46 – 51.
6. Горбис З.Р., Календерьян В.А. Теплообменники с проточными дисперсными теплоносителями. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
7. Фалеев, В. В. Исследование межфазного теплообмена в регенеративном теплообменнике с дисперсной насадкой [Текст] / В. В. Фалеев, А. В. Бараков // Промышленная энергетика. - 2003. - N 6. - С. . 35-37.

8. Прутских Д. А. Гидродинамика и теплообмен в регенераторе с дисперсной насадкой / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к. т. н. Специальность: 05.14.04- Промышленная теплоэнергетика. – Воронеж: 2009. – 22 с.
9. Календерьян, В. А. Тепломассоперенос в аппаратах с плотным дисперсным слоем [Текст] / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова // Монография. – К., 2011. – 184 с.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
11. Солодкая А.В., Бошкова И.Л. Исследование эффективности теплообмена в теплообменниках-утилизаторах с гранулированной насадкой [Текст] / И.Л. Бошкова, А.В. Солодкая, // Proceeding of the Int. Conf. "Energy of Moldova – 2016. Regional aspects of development" 29 Sept. – 01 Oct., 2016 - Chisinau, Republic of Moldova. – p. 373-377.