

УДК 532.546

А.И. Сафронов, О.А. Бармина, В.Ю. Красных,  
 А.В. Островская, В.Н. Королев, С.А. Нагорнов  
 (A.I. Safronov, O.A. Barmina, V.Y. Krasnykh,  
 A.V. Ostrovskaya, V.N. Korolev, S.A. Nagornov)  
 УГЛТУ, УрФУ, Екатеринбург, ВНИИТиН, Тамбов  
 (USFEU, UrFU, Ekaterinburg, VNIITiN, Tambov)

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ  
 В ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ  
 (INTENSIFICATION OF THE HEAT EMISSION PROCESSES  
 IN A DISPERSION MEDIUM)**

*Экспериментально исследован процесс интенсификации теплоотдачи тел, плавающих на поверхности псевдоожигенного слоя, за счет направленных на выступающую поверхность тела гетерогенных струй (смесь твердых частиц с воздухом). Показано, что применение гетерогенных струй, генерируемых самой псевдоожигенной средой, приводит к увеличению среднего по поверхности тела коэффициента теплоотдачи, без изменения энергетических затрат на процесс псевдоожигения.*

*The experiment under the study shows the intensification process of heat emission of bodies floating on the surface of the fluidized bed, owing to heterogeneous jets (mixture of solid particles with air) aimed at the salient surface of a body. It is shown that the use of heterogeneous jets generating by the fluidizing medium itself, leads to increase in the average level of heat transfer coefficient for the body surface area without altering the energy inputs required to the process of fluidisation.*

Многочисленные эксперименты показывают, что коэффициент теплоотдачи от поверхности тела, размещенного в псевдоожигенном слое, с ростом числа псевдоожигения сначала увеличивается, достигая максимума при  $W \sim 2-3$  (в зависимости от диаметра частиц слоя), а затем начинает снижаться. Наличие максимума коэффициента внешнего теплообмена в псевдоожигенном слое свидетельствует о невозможности дальнейшей интенсификации переноса теплоты изменением числа псевдоожигения в слоях как мелких, так и крупных частиц.

Следовательно, требуется поиск новых научно обоснованных способов интенсификации теплопереноса в системах, использующих дисперсный материал в качестве промежуточного теплоносителя, при минимальных затратах энергии на его перемещение.

В изученной нами литературе\* подробно описан процесс транспорта дисперсной среды (смеси газа и твердых частиц) по трубке, вертикально погруженной в псевдооживленный слой. Показано, что интенсивность процесса движения дисперсной среды по трубке и массовый расход частиц определяются соотношением сопротивлений дисперсной среды внутри трубки и слоя вне ее, а это, в свою очередь, зависит от числа псевдооживления  $W$ , глубины погружения трубки в слой и размеров внутреннего диаметра трубки и частиц слоя.

Этот эффект приняли за основу при разработке устройства для формирования и подачи гетерогенных струй на локальную теплообменную поверхность (рис. 1).

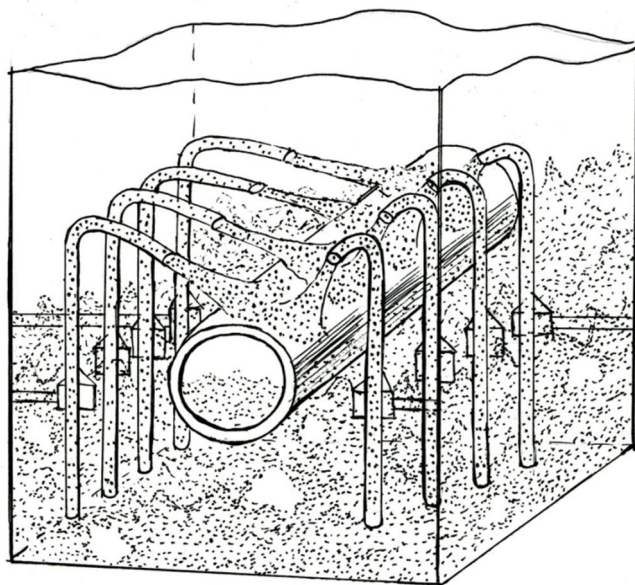


Рис. 1. Схема установки для интенсификации теплообмена гетерогенными струями

канавкой (шаг 0,5 мм) на наружной поверхности с уложенной в ней нихромовой проволокой диаметром 0,2 мм. Концы натянутой проволоки жестко крепились винтами к соединительным планкам. Втулку надевали на кордиеритовую трубку (длиной 0,6 м, наружным диаметром 30 мм и толщиной стенки 6 мм), отверстия в соединительных планках втулки совмещали с отверстиями в трубке, через которые выводили монтажные провода. Сверху на втулку надевали медный кожух (наружным диаметром 0,042 м и длиной 0,03 м). В середине наружной поверхности кожуха была кольцевая канавка, в которую зачеканивали спай ( $d \leq 0,2$  мм) медь-константановой термопары. Провода термопары укладывали в кольцевую

В прямоугольном аппарате симметрично его продольной оси в направляющих установлены щелевые сопла, нижние части которых погружены в псевдооживленную среду. Сопла устанавливались так, чтобы загнутые их концы были направлены на поверхность теплообменника.

Теплообменник был собран из десяти независимых друг от друга термоэлементов с теплоизоляционными шайбами между ними. Каждый термоэлемент имел асбоцементную втулку с винтовой

\* Пневмотранспорт дисперсной среды по вертикальной трубке, опущенной в псевдооживленный слой / В.Ю. Красных, В.Н. Королев, А.В. Островская, С.А. Нагорнов // Теплоэнергетика, 2013. № 11. С. 17–20.

канавку, выводили в диаметрально противоположный от спая паз и выводили через отверстия внутрь трубки. Канавку закрывали медным кольцом и запаивали. Такая заделка термоэлектродных проводов предотвращала отток теплоты от спая термопары. Внутреннюю поверхность кожуха изолировали от нагревателя листовой слюдой. Высокая теплопроводность медного кожуха и равномерная намотка нагревателя обеспечили практически изотермическое поле и вокруг горячего спая термопары, и по всей наружной боковой поверхности кожуха.

Исследования внешнего теплообмена в псевдооживленной среде проводили по стационарной методике.

За счет направленных сверху на один элемент теплообменника гетерогенных струй и псевдооживленной среды (снизу), теплоотдающая поверхность элемента теплообменника со всех сторон равномерно подвергается воздействию частиц и газа, движущихся нормально к этой поверхности. Другой элемент теплообменника, на который гетерогенные струи не направлены, омывается только псевдооживленной средой.

Результаты теплообмена секции теплообменника, охлаждаемой только псевдооживленным слоем, и секции, дополнительно охлаждаемой струями, представлены на рис. 2.

Без устройства для формирования и подачи гетерогенных струй на теплообменник с увеличением скорости фильтрации наблюдался рост  $\alpha$ . С устройством независимо от скорости фильтрации наблюдалась резкая интенсификация теплопереноса.

При этом увеличение скорости фильтрации  $\sim$  в 2,6 раза не приводило к заметным изменениям значений  $\alpha$  (верхняя кривая на рис. 2).

Таким образом, используя такие устройства, даже при небольших числах псевдооживления можно получить максимальные значения коэффициентов теплоотдачи при минимальных затратах мощности на прокачку теплоносителя.

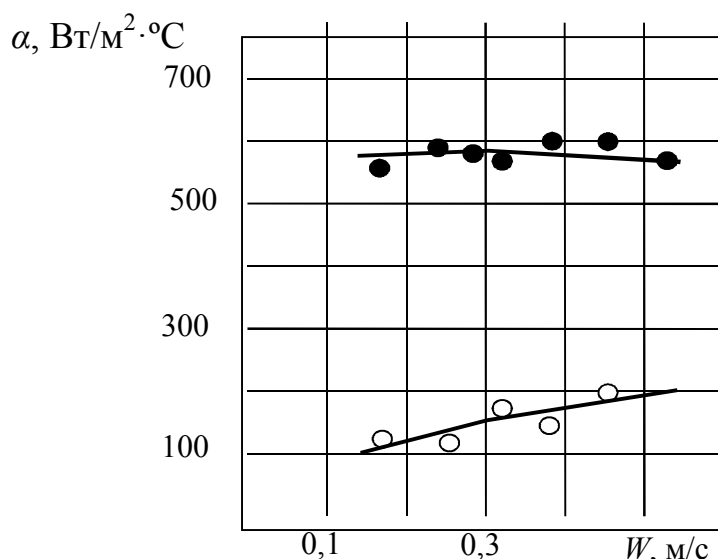


Рис. 2. Влияние скорости фильтрации на величину коэффициента теплоотдачи