

*Библиографический список*

1. Лесная биоэнергетика: учеб. пособие / под ред. Ю.П. Семенова. М.: ГОУ ВПО МГУЛ. 2010.
2. Теплотехника. Учеб. для вузов. / Под ред. А.П. Баскакова. М.: Энергоиздат 1991.
3. Брдлик П.М. Теплотехника и теплоснабжение предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1998.

УДК 532.546

А.И. Сафронов  
(A.I. Safronov)  
(УГЛТУ, Екатеринбург)  
(USFEU, Yekaterinburg)  
В.Н. Королев, А.В. Островская  
(V.N. Korolev, A.V. Ostrovskaya)  
(Уральский Федеральный университет имени первого президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург)  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg)

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ**  
(EFFECTIVENESS OF HEAT-TRANSFER AGENTS)

*Проведена оценка эффективности воздуха и дисперсной среды как промежуточных теплоносителей в теплообменных аппаратах по интенсивности теплообмена, затратам энергии на перемещение теплоносителей и экологическим проблемам.*

*In this paper we evaluated the effectiveness of the air and the disperse medium as the intermediate heat transfer agents in heat exchangers according to the intensity of heat exchange, the energy consumption for moving the heat transfer agents and environmental problems.*

Когда говорят об эффективности теплоносителей, в качестве которых используются вода, воздух, дисперсная среда, то чаще всего их анализируют по интенсивности процесса теплоотдачи и, реже, – по затратам мощности на их прокачку по контуру аппаратов и экологическим проблемам.

Основным недостатком воздуха как промежуточного теплоносителя является низкий коэффициент теплопроводности и, как следствие этого, невысокая интенсивность процесса теплоотдачи. Если в поток газа добавить твердые частицы, например песок, корунд или частицы других материалов, а скорость газа при этом будет превышать скорость витания частицы, тогда эта дисперсная среда будет называться псевдооживленным слоем.

Эффективная теплопроводность развитого псевдоожигенного слоя соответствует теплопроводности хороших металлических проводников, поэтому и интенсивность процесса внешнего теплообмена в псевдоожигенных средах достаточно высокая.

Целью данной работы является оценка эффективности воздуха и дисперсной среды (псевдоожигенного слоя) как промежуточных теплоносителей в теплообменных аппаратах по интенсивности теплообмена, затратам энергии на перемещение теплоносителей и экологическим проблемам.

В качестве объекта исследования рассматривался процесс теплоотдачи при вынужденном поперечном обтекании одиночной трубы чистым воздухом, а также псевдоожигенной средой. Псевдоожигенный слой создавался в аппарате квадратного сечения  $0,1 \times 0,1$  м, состоящем из дутьевой камеры с газораспределительным устройством, в качестве которого использовалась перфорированная решетка живым сечением 9,82 % (оптимальное, с точки зрения сопротивления, при продувке зернистого слоя [1]). На решетку насыпался слой стеклянных частиц эквивалентным диаметром 0,5 мм, высотой 0,1 м. Опытным путем была определена скорость начала псевдоожигения (0,17 м/с). Ожижающим агентом служил воздух.

Исследовалась интенсивность процесса теплоотдачи от горизонтально расположенного в псевдоожигенном слое (на высоте 0,06 м от газораспределительной решетки) цилиндра диаметром 35 мм. В табл. 1 показаны величины коэффициентов теплоотдачи в зависимости от скорости фильтрации воздуха. При изменении скорости фильтрации  $\omega$  от 0,255 м/с до 0,425 м/с величина коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  в псевдоожигенном слое возрастала от 175 до 288 Вт/(м<sup>2</sup>К). Расчеты, выполненные нами по формуле теплоотдачи при поперечном обтекании одиночной трубы потоком чистого воздуха [2], показали (табл. 1), что при скоростях воздуха, равных скорости его фильтрации в псевдоожигенном слое, значения коэффициентов теплоотдачи не превышали 11 Вт/(м<sup>2</sup>К).

Таблица 1

Эффективность теплоотдачи при использовании воздуха и дисперсной среды при одинаковых скоростях фильтрации

Скорость фильтрации, $\omega$ , м/с	Псевдоожигенный слой	Воздух
	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
0,255	175	7,9
0,289	223	8,4
0,340	240	9,1
0,425	288	10,2

Однако эффективность теплоносителя оценивать только по величинам коэффициентов теплоотдачи, получаемым при одинаковых скоростях движения теплоносителей, не совсем правильно. Сравнение необходимо вести при одинаковых затратах энергии на прокачку теплоносителей.

В опытах при продувке дисперсной среды фиксировались потери напора ( $\Delta p$ ). Сохраняя величины потери напора, но уже без частиц, через решетку прокачивался чистый воздух и определялся коэффициент теплоотдачи. Зная  $\Delta p$ , по формуле  $\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\xi_i \cdot \rho}}$  рассчитывалась скорость воздуха на выходе из отверстий решетки. Значения скоростей воздуха и коэффициентов теплоотдачи приведены в табл. 2.

Как следует из таблицы, при одинаковых затратах энергии на прокачку теплоносителей величины коэффициентов теплоотдачи при использовании воздуха примерно в 1,6 раза выше, чем в псевдооживленном слое. Интенсификация теплообмена происходит за счет струй, которые, ударяясь о поверхность тела, уменьшают толщину и увеличивают турбулентность теплового пограничного слоя.

Таблица 2

Эффективность теплоотдачи при использовании воздуха и дисперсной среды при одинаковых затратах энергии на прокачку теплоносителей

Псевдооживленный слой		Воздух	
$\omega$ , м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$\omega$ , м/с	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
0,255	175	12	291
0,289	223	15	343
0,340	240	16	432
0,425	288	18	459

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при струйном теплообмене на чистом воздухе можно добиться большего эффекта, чем при использовании дисперсной среды при одинаковых затратах мощности на прокачку теплоносителей. Так как дисперсная среда обладает повышенным абразивным износом оборудования, то, используя чистый воздух, можно значительно увеличить ресурс использования оборудования, а также избежать экологических проблем, связанных с выбросами мелкодисперсной пыли, получаемой в результате истирания частиц слоя.

#### Библиографический список

1. Красных В.Ю., Королев В.Н. Оптимизация энергетических затрат на образование псевдооживленного слоя при сохранении высокой интен-

сивности внешнего теплообмена // Промышленная энергетика. 2006. № 12. С. 30-33.

2. Королев В.Н. Тепломассообмен: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 250 с.

УДК 621.547:66-912

А.И.Сафронов

(A.I. Safronov)

(УГЛТУ, Екатеринбург)

(USFEU, Yekaterinburg)

И.С. Парышев, В.Н. Королев

(I.S. Paryshev, V.N. Korolev)

(Уральский Федеральный университет имени первого президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург)

(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Yekaterinburg)

## **ДВИЖЕНИЕ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ПО ТРУБКЕ, ОПУЩЕННОЙ В НЕПОДВИЖНЫЙ**

### **ПРОДУВАЕМЫЙ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ**

(DISPERSION MEDIUM MOTION INSIDE A TUBE LOWERED INTO  
A STATIONARY VENTILATED GRANULAR BED)

*Экспериментально исследовано влияние внутреннего диаметра трубки на высоту поднятия дисперсной среды внутри нее.*

*The influence of the internal diameter of the tube at the previously discovered effect has been experimentally investigated, namely, that if a hollow cylinder (tube) lowered in a stationary ventilated bed, the inside of the cylinder the solid phase starts to move rapidly whereby the height which dispersed medium reaches inside the tube exceeds the height of the stationary bed. It is shown that the height and character of particles motion directly depend on the internal diameter of the tube.*

Экспериментально установлено [1], что если полый цилиндр (трубку) опустить в псевдооживленный слой, то высота, на которую поднимается дисперсная среда внутри цилиндра, превосходит высоту слоя в аппарате.

Если трубку опустить в неподвижный продуваемый со скоростью, близкой к скорости начала псевдооживления зернистый слой, то также как и в псевдооживленном слое, внутри трубки появляется интенсивное движение частиц, вследствие чего высота, на которую поднимается дисперсная среда внутри трубки, превышает высоту неподвижного слоя.