

# т е п л о э н е р г е т и к а

УДК 536.24

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА МЯГКОГО ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОМ ВН

Докт. техн. наук, проф. НЕСЕНЧУК А. П.<sup>1)</sup>, магистр техн. наук ИОКОВА И. Л.<sup>1)</sup>,  
канд. техн. наук РЫЖОВА Т. В.<sup>2)</sup>, инженеры ШКЛОВЧИК Д. И.<sup>1)</sup>,  
ЯРМОЛЬЧИК М. А.<sup>1)</sup>, АЙДАРОВА З. Б.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ОАО «Минский автомобильный завод» – управляющая компания  
холдинга «БелавтомАЗ»

Создание искусственной шероховатости на поверхности теплообмена – один из наиболее эффективных и простых методов интенсификации конвективного теплообмена [1]. Применение шероховатой поверхности способствует изменению характера течения жидкости (капельная, либо газообразная). При прочих равных условиях (рис. 1) переход из ламинарного течения в турбулентное на шероховатой поверхности наступает при меньших числах  $Re$ , нежели на гладкой. Шероховатость на теплоотдающей теплообменной поверхности вызывает локальные завихрения (рис. 1б) и усиливает перенос теплоты вблизи стенки.

Измерения со стороны поверхности образцов № 1 и 2 выполняли в зафиксированном сечении теплообменника в течение 10 мин. Точки со стороны поверхности образца № 2 указывают на существенный разброс температур у этой поверхности, что свидетельствует о нарастании турбулизации потока жидкости и разрушении ламинарного слоя. В конечном итоге наличие шероховатости приводит к устойчивому турбулентному течению и росту теплоотдачи (рис. 1б) на стороне стенка–воздух, что существенно интенсифицирует теплопередачу предложенного авторами отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного объекта (типа полевого госпиталя) [2].

Рассматриваемый отопительный прибор изготовлен из мягкого полимерного материала (поливинилхлорида), покрытого мягкой полимерной пленкой с ворсистой поверхностью (рис. 2), интенсифицирующей внешний теплообмен. Наряду с реальным интенсифицирующим теплообмен эффектом теплообменник остается не тяжелым и малозатратным в денежном выражении.

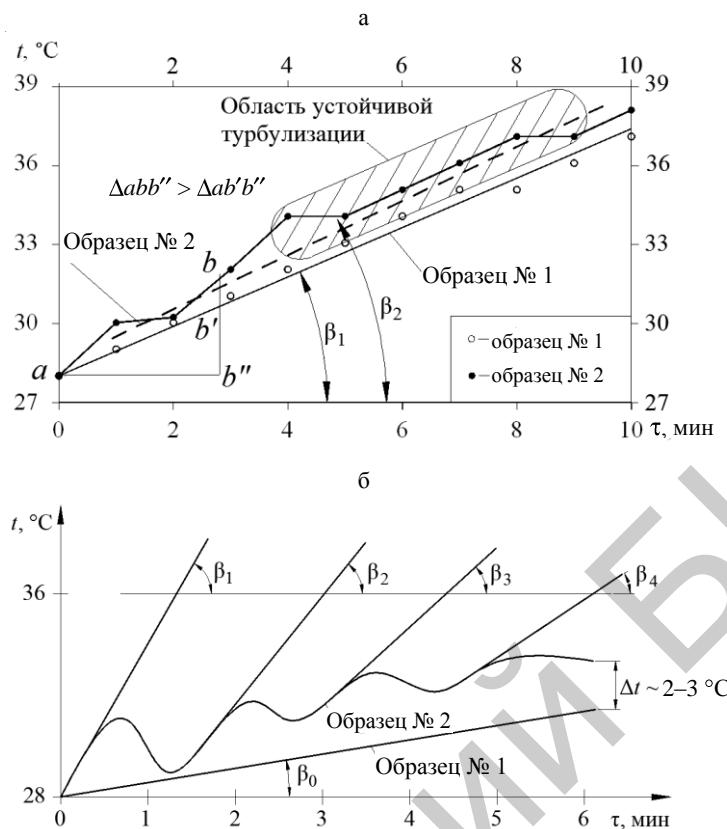


Рис. 1. Экспериментальные данные авторов по измерению температуры воздуха со стороны шероховатой 2 и гладкой 1 поверхностей отопительного элемента [2]:  
а – эксперимент (измерено точечным прибором «Сосна-002»);  
б – гидродинамическая картина разрушения ламинарного слоя

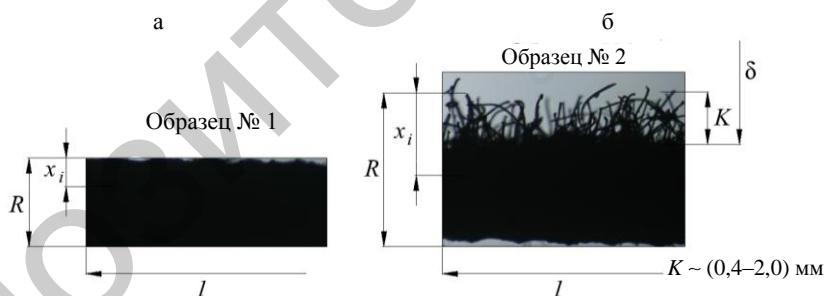


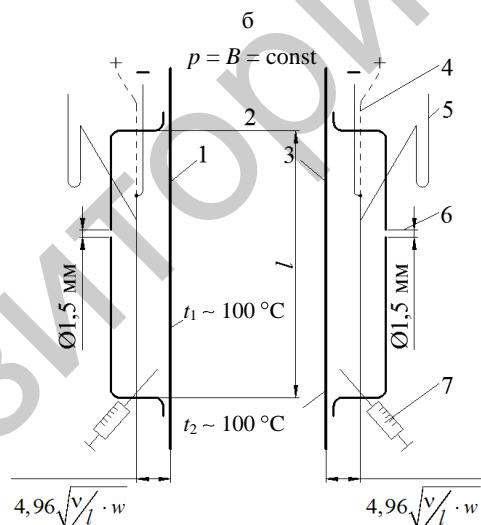
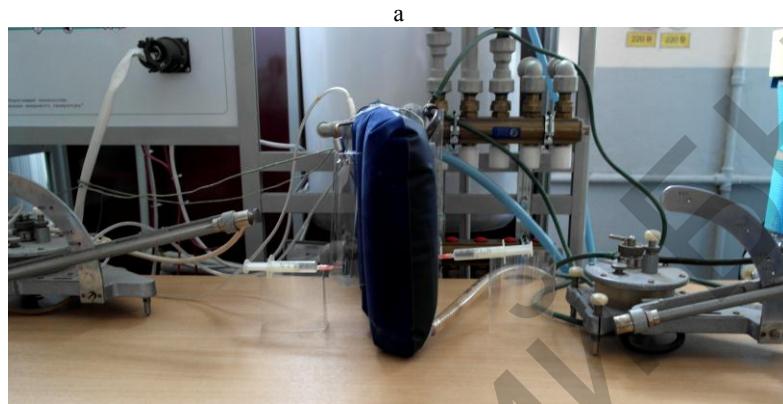
Рис. 2. Общий вид поверхности отопительного прибора: а – гладкая поверхность теплообмена из мягкого поливинилхлорида (образец №1); б – то же, но поверхность с мягкой шероховатой поливинилхлоридной пленкой (образец №2, увеличение 1:10);  
 $\delta$  – величина пограничного слоя ( $\delta \sim 4,96 \sqrt{\frac{v}{l}} w$ , где  $l$  – характерный размер в направлении турбулентного потока ( $l \sim 0,6 \text{ м}$ ));  $w$  – средняя скорость в турбулентном потоке,  $w \sim 0,1-1,0 \text{ м/с}$ ;  $K$  – шероховатость,  $K \sim 0,4-2,0 \text{ мм}$

Анализ результатов эксперимента (рис. 1а) указывает на явную интенсификацию теплообмена на стороне с искусственной шероховатостью (образец №2, рис. 2б) в результате разрушения ламинарного слоя. В конечном итоге с небольшой погрешностью можно записать

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} \sim \frac{Nu_k}{Nu}, \quad (1)$$

где  $Nu_k$  – число Нуссельта, характеризующее теплообмен на шероховатой (вертикальная ориентация) поверхности отопительного прибора системы теплоснабжения.

Эксперимент выполняли в лабораториях кафедры ПТЭ и Т Белорусского национального технического университета (г. Минск) на установке, показанной на рис. 3. Измерения проводили самопищущим прибором КСП-4М (рис. 4) и точечным измерителем «Сосна-002» (рис. 1а).



*Рис. 3. Экспериментальная установка: а – внешний вид; б – схема: 1 – гладкая теплоотдающей стенки (образец № 1); 2 – поток капельной жидкости (физраствор,  $NaCl \sim 4-5\%$ ),  $w \sim 0,1-0,5$  м/с; 3 – шероховатая теплоотдающая поверхность (мягкий поливинилхлорид),  $K \sim 0,2-2,0$  мм; 4 – термопара ХК (пишущий прибор – КСП-4М); 5 – чашечный микроманометр; 6 – отверстие для связи с атмосферой; 7 – медицинский шприц для введения красящей жидкости*

Используя результаты натурного эксперимента и материалы А. А. Жукаускаса [3] для условий  $w_f \sim 0,1-1,0$  м/с;  $t_f \sim 30-70$  °C и  $Re_f = 3000-37000$ , авторами построена графическая зависимость  $C_k = f(Re)$  (рис. 5).

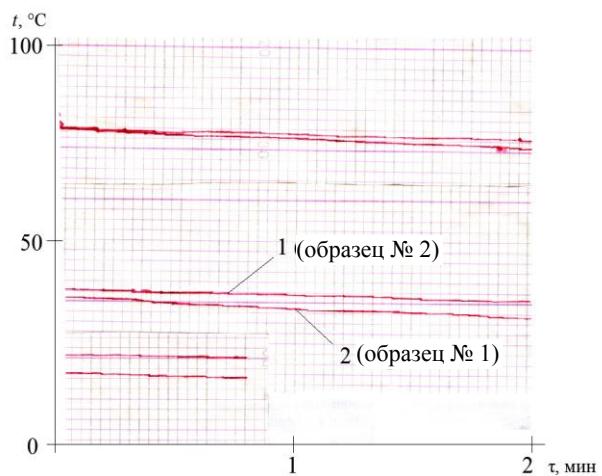


Рис. 4. Измерение температуры на поверхности теплообменника пищущим прибором КСП-4М: 1 и 2 – соответственно для шероховатой и гладкой поверхностей

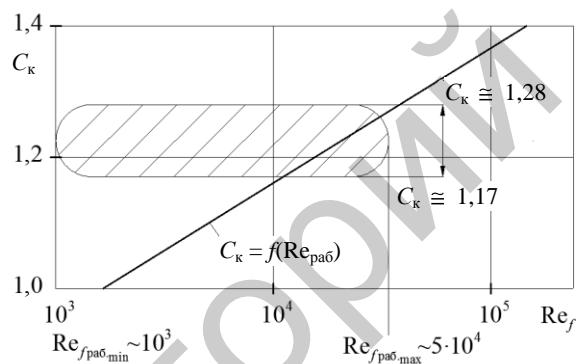


Рис. 5. График оценки интенсификации теплообмена со стороны образца № 2 (рис. 2а):  
 $C_k$  – доля роста теплоотдачи

Ранее в [2] авторами было получено уравнение для гладкой мягкой поверхности из поливинилхлорида

$$Nu_f = 0,5 \left( \frac{1 + p_\Phi \Phi}{2} \right) Gr Pr^{0,25}, \quad (2)$$

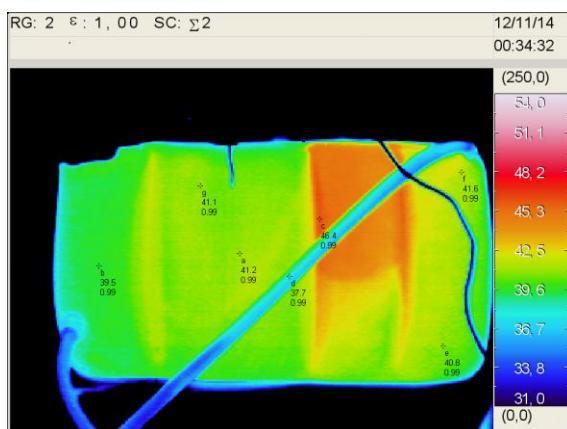
где  $p_\Phi$   $\Phi$  – плотность распределения вероятностей.

С учетом коэффициента  $C_k$  (2) перепишется

$$Nu_{f_{C_k}} = 0,5 C_k \left( \frac{1 + p_\Phi \Phi}{2} \right) Gr Pr^{0,25}. \quad (3)$$

Анализ процесса разрушения ламинарного слоя представлен рис. 6.

Образец № 1



Образец № 2

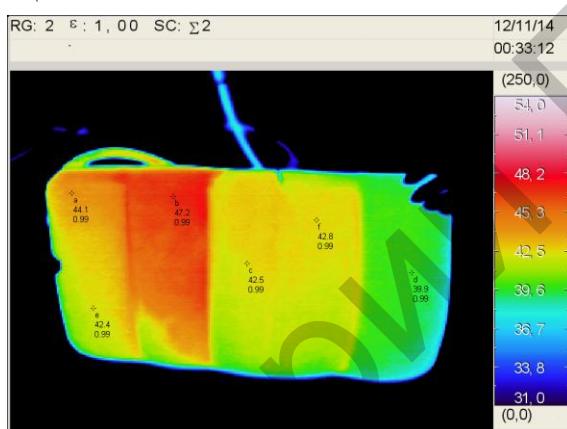


Рис. 6. Исследование теплоотдачи отопительного прибора (от поверхности образцов № 1 и 2 к обогреваемому окружающему воздуху) с использованием тепловизора ThermoTracer TH7700 (тарировка цветовой картины выполнена по показанию термопары ТХК)

## ВЫВОДЫ

Авторами предложена мягкая пленка в качестве покрытия гладкой поливинилхлоридной поверхности отопительного прибора, имитирующая искусственную шероховатость теплоотдающей поверхности.

Изучена внешняя теплоотдача отопительного прибора с турбулизирующей поток воздуха пленкой, интенсифицирующей теплоотдачу к окружающему воздуху отапливаемого объекта.

Записано критериальное уравнение для расчета внешней теплоотдачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т е п л о - и массообмен: учеб. пособие: в 2 ч. / Б. М. Хрусталев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2007. – Ч. 1. – 606 с.
2. О ц е н к а теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения с вихревым теплогенератором / А. П. Несенчук [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. – № 6. – С. 46–52.
3. Ж у к а у с к а с, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. – 472 с.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т

Поступила 01.04.2013