

УДК 536.24

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

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

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾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.

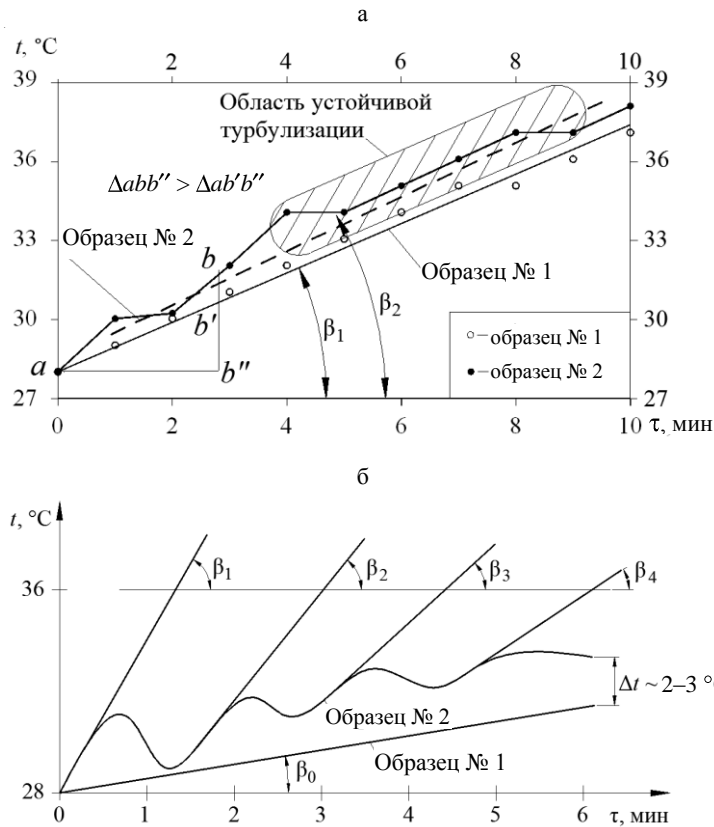


Рис. 1. Экспериментальные данные авторов по измерению температуры воздуха со стороны шероховатой 2 и гладкой 1 поверхностей отопительного элемента [2]:
 а – эксперимент (измерено точечным прибором «Сосна-002»);
 б – гидродинамическая картина разрушения ламинарного слоя

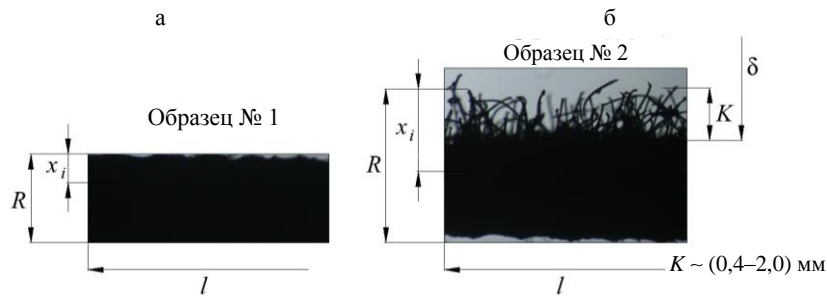


Рис. 2. Общий вид поверхности отопительного прибора: а – гладкая поверхность теплообмена из мягкого поливинилхлорида (образец № 1); б – то же, но поверхность с мягкой шероховатой поливинилхлоридной пленкой (образец № 2, увеличение 1:10);

δ – величина пограничного слоя ($\delta \sim 4,96 \sqrt{\frac{\nu}{l}} w$, где l – характерный размер в направлении турбулентного потока ($l \sim 0,6$ м)); w – средняя скорость в турбулентном потоке, $w \sim 0,1-1,0$ м/с; K – шероховатость, $K \sim 0,4-2,0$ 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 самопишущим прибором КСП-4М (рис. 4) и точечным измерителем «Сосна-002» (рис. 1а).

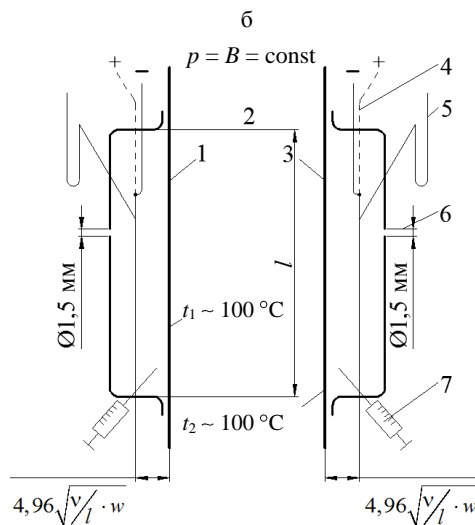
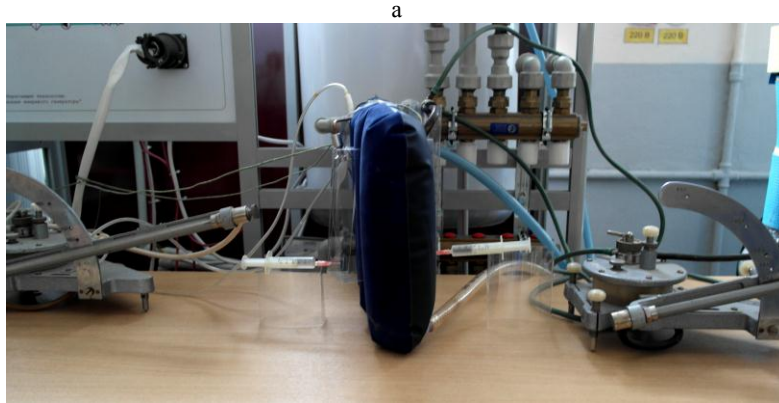


Рис. 3. Экспериментальная установка: а – внешний вид;
 б – схема: 1 – гладкая поверхность теплоотдающей стенки (образец № 1);
 2 – поток капельной жидкости (физраствор, NaCl ~ 4–5 %), $w \sim 0,1–0,5$ м/с;
 3 – шероховатая теплоотдающая поверхность (мягкий поливинилхлорид), $K \sim 0,2–2,0$ мм;
 4 –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

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

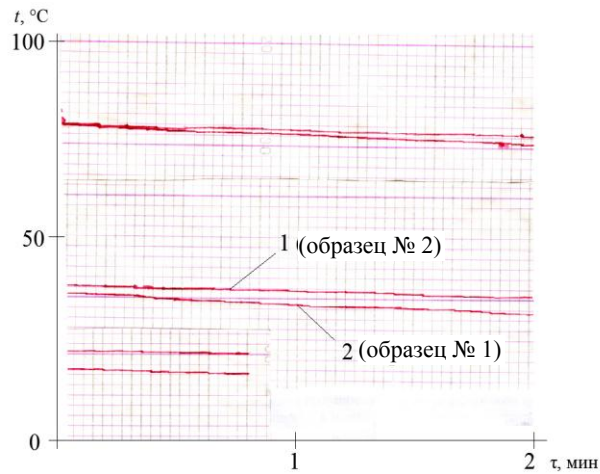


Рис. 4. Измерение температуры на поверхности теплообменника пишущим прибором КСП-4М: 1 и 2 – соответственно для шероховатой и гладкой поверхностей

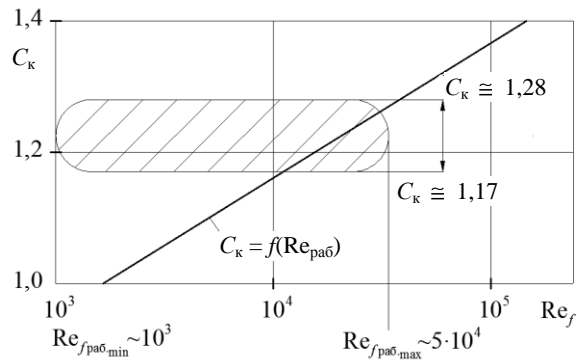


Рис. 5. График оценки интенсификации теплообмена со стороны образца № 2 (рис. 2а): C_k – доля роста теплоотдачи

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

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

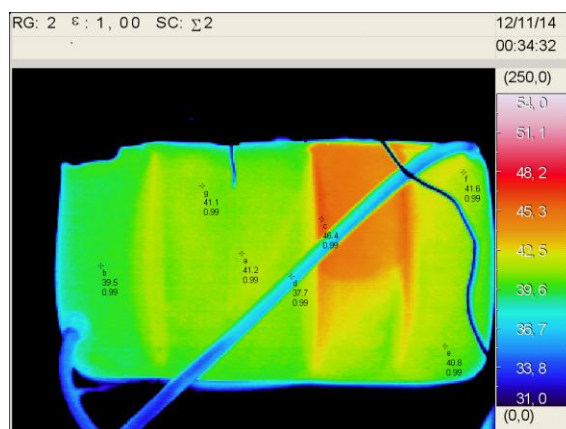
где $p_\Phi \Phi$ – плотность распределения вероятностей.

С учетом коэффициента C_k (2) переписывается

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

Анализ процесса разрушения ламинарного слоя представлен рис. 6.

Образец № 1



Образец № 2

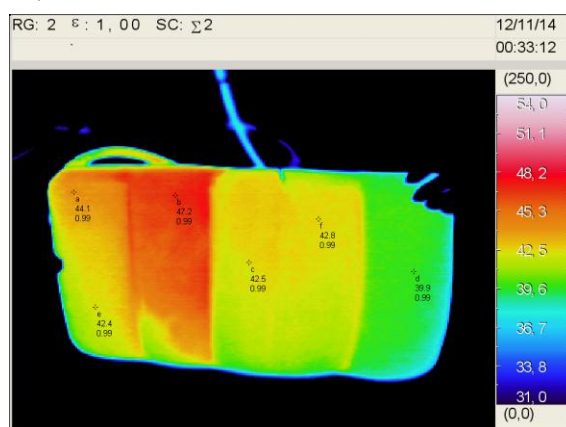


Рис. 6. Исследование теплоотдачи отопительного прибора (от поверхности образцов № 1 и 2 к обогреваемому окружающему воздуху) с использованием тепловизора ThermoTranсер TH7700 (тарировка цветовой картины выполнена по показанию термпары ТХК)

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. Хрусталеv [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