

О возможности определения гидросопротивления канала с односторонней искусственной шероховатостью по экспериментальным данным, полученным на каналах упрощенной геометрии.

Ю.А. Мелянюк^{1,2}, С.В. Мосолов²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

² ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

Повышение энергетических характеристик ЖРД требует отказа от внутреннего типа охлаждения с одновременной интенсификацией наружного проточного. Обычные методы интенсификации теплообмена в охлаждающем тракте – увеличение скорости течения охладителя и усиление оребрения охлаждающей стенки оказываются в ряде случаев недостаточными. В последние годы в теплообменной технике усиленно изучаются альтернативные методы интенсификации теплообмена между стенкой и охладителем. Один из таких способов интенсификации теплообмена в охлаждающем тракте камеры ЖРД является применение искусственной шероховатости в виде отдельных выступов периодически располагающихся по длине канала. Однако известно, что вместе с теплом турбулентность одновременно переносит и импульс. Поэтому очевидно, что и в случае использования искусственной шероховатости дополнительная турбулизация прилегающего к стенке слоя приводит не только к интенсификации теплообмена, но и к росту гидравлических потерь, хотя и к менее высокому, чем при увеличении степени турбулентности всего потока. В связи с наличием этих дополнительных потерь, при проектировании тракта охлаждения необходимо иметь их количественную оценку.

Целью настоящей работы являлось определение коэффициентов интенсификации гидравлического сопротивления для тракта охлаждения камеры ЖРД из-за наличия в каналах охлаждения периодически расположенных элементов искусственной шероховатости.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- Проведен анализ имеющихся в литературе экспериментальных и теоретических данных по направлению настоящей работы.
- Проведен анализ уравнений гидродинамики и на основании этого анализа получено выражение, позволяющее определять коэффициент гидравлического сопротивления канала с искусственной шероховатостью на дне канала по экспериментальным данным, полученным в модельных условиях.
- Разработана экспериментальная установка и проведено экспериментальное изучение гидравлического сопротивления каналов охлаждения с искусственной шероховатостью на примере моделей каналов с геометрическими характеристиками соответствующими каналам охлаждения камеры ЖРД 11Д58МФ.

Для экспериментального изучения гидравлического сопротивления канала прямоугольного сечения с искусственной шероховатостью была разработана экспериментальная установка и проведены испытания. Рабочий участок установки выполнен в виде прямолинейного канала постоянного по длине прямоугольного поперечного сечения, с движущейся внутри него несжимаемой жидкостью.

Результаты испытаний обрабатывались следующим образом:

- 1) по перепаду на контрольном участке оценивается коэффициент сопротивления:
$$\lambda = \frac{\Delta P_{\text{эксп}} d_{\Gamma} 2\rho F^2}{IG_{\text{эксп}}}$$

$G_{\text{эксп}}$ – экспериментальное значение расхода воды через установку

$P_{\text{эксп}} = P_3 - P_2$ – экспериментальное значение перепада давления на контрольном участке модельного тракта.

- 2) для каждого режима по расходу воды определяется число Рейнольдса, характеризующее течение в канале:

$$Re = \frac{\rho W d_{\Gamma}}{\mu_{\text{ж}}} = \frac{G_{\text{эксп}} d_{\Gamma}}{F \mu_{\text{ж}}}$$

Для канала с ИШ значение $d_{\Gamma} = \frac{4F}{\Pi}$ принималось таким же, как и для гладкого исходного канала.

3) строились графики экспериментальной зависимости $\lambda=f(Re)$. Результаты их обработки представлены в Табл.1, и затем было проведено сравнение (рис.1) экспериментальных и литературных данных, пересчитанных по формуле

$$K_{иш} = 1 + \frac{\delta}{\Pi} (K_{иш(п)} - 1)$$

Табл.1 – Результаты обработки экспериментальных данных для ИШ разной высоты.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| δ, мм | 1.15 | | | | | | 1.70 | | | | | | | |
| H канала, мм | 1.80 | | | | | | 2.80 | | | | | | | |
| s, мм | 0.19 | | 0.35 | | 0.42 | | 0.18 | | 0.30 | | 0.35 | | 0.39 | |
| t, мм | 3.00 | | 3.00 | | 3.00 | | 4.40 | | 4.40 | | 4.40 | | 4.40 | |
| t/s | 16.22 | | 8.57 | | 7.14 | | 24.44 | | 14.67 | | 12.57 | | 13.85 | |
| Re ₁ , Re ₂ | 22000 | 50000 | 22000 | 50000 | 22000 | 50000 | 35000 | 90000 | 35000 | 90000 | 35000 | 90000 | 35000 | 90000 |
| лиш | 0.040 | 0.033 | 0.057 | 0.047 | 0.055 | 0.046 | 0.036 | 0.032 | 0.043 | 0.036 | 0.048 | 0.046 | 0.0465 | 0.0446 |
| λгладк | 0.025 | 0.020 | 0.025 | 0.020 | 0.025 | 0.020 | 0.022 | 0.017 | 0.022 | 0.017 | 0.022 | 0.017 | 0.022 | 0.017 |
| K _{иш} эксп | 1.64 | | 2.32 | | 2.26 | | 1.77 | | 2.05 | | 2.45 | | 2.39 | |

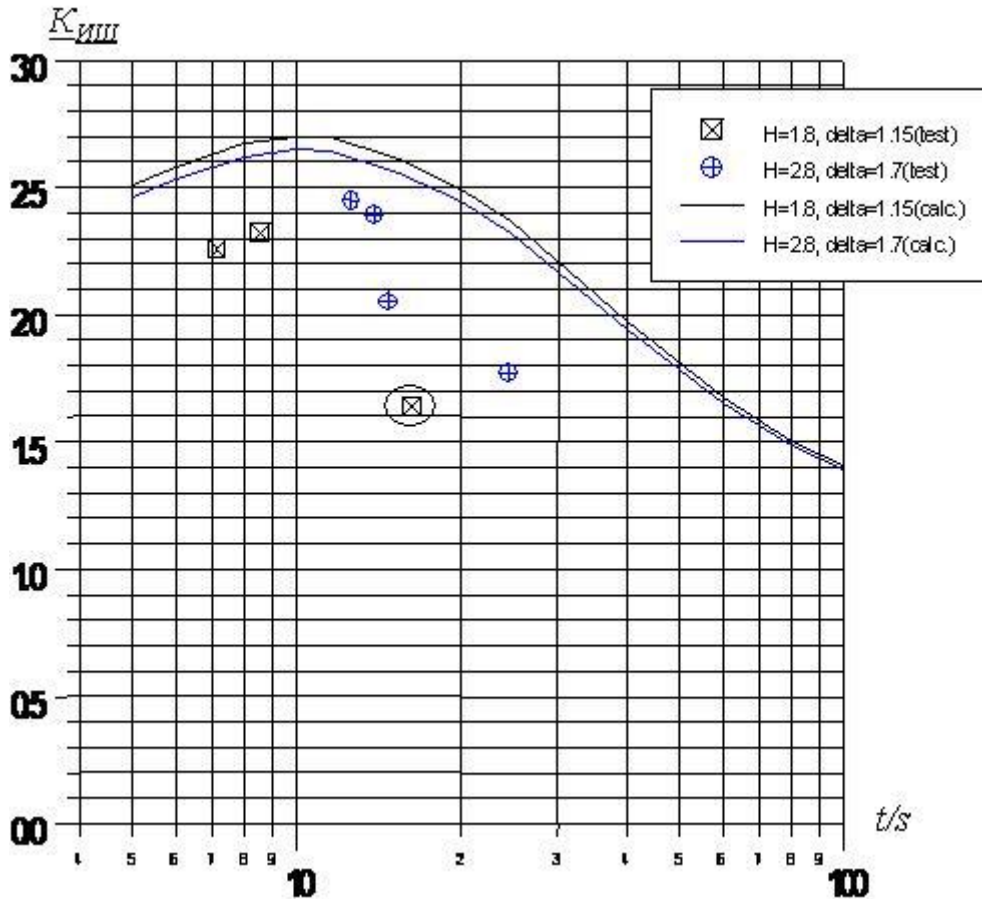


Рис. 1 Сопоставление полученных результатов с литературными данными.

Литература

1. Калинин Э.К. [и др.]. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1969. 824 с.

