

УДК 536.24

Магистрант А.А. Баштанюк
Науч. рук. д.т.н. А.А. Андрижиевский
(кафедра энергосбережения, гидравлики и теплотехники, БГТУ)

МЕТОД АНАЛИЗА ПОГРАНИЧНЫХ ТЕРМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

На рынке энергетического оборудования Республики Беларусь имеется широкий спектр теплообменных устройств, отличающихся как назначением, так и конфигурацией теплообменных поверхностей, и способами их компоновки.

Вместе с тем, указанное разнообразие форм поверхностей теплообмена требует индивидуальных стендовых испытаний (как производственных, так и аттестационных), что, безусловно, увеличивает их рыночную стоимость и сдерживает обновление модельного ряда.

Одним из способов сокращения производственных издержек и упрощения процедуры продвижения на рынок новых теплообменных устройств может быть разработка методов расчетного анализа их тепловых и гидродинамических характеристик с использованием образцов теплообменных поверхностей.

Внедрение в инженерную практику расчетных, и в частности, интегральных методов позволяет значительно сократить весь производственный цикл от проектирования до внедрения нового теплообменного оборудования.

В основу предлагаемого метода анализа многослойных поверхностей теплообмена положена процедура анализа реальной конфигурации промышленных образцов этих поверхностей и использование ее в качестве базовой при анализе теплогидравлических характеристик предлагаемых к внедрению конструкций.

Одним из ключевых моментов подобного анализа является определение термического сопротивления контактных поверхностей. Данная проблема может быть решена посредством решения обратных или прямых задач теплообмена на основе многомерных вычислительных аналогов с использованием данных тестовых испытаний промышленных образцов теплообменных поверхностей или прямых определений термических сопротивлений в специализированных экспериментальных исследованиях.

В последующем эти результаты могут быть использованы для оптимизации или аттестации модельного ряда промышленных об-

разцов теплообменного оборудования на основе уже упрощенных расчетных соотношений.

Анализ теплогидравлических характеристик теплообменных поверхностей сложной конфигурации, включает:

– анализ существующих экспериментальных, расчетных и программных методов описания пограничных слоев при течении однофазных сред и при наличии фазовых превращений;

– выбор оптимальной расчетной схемы описания теплогидравлических характеристик теплообменных поверхностей сложной конфигурации с использованием представления многофазных течений в допущениях модели гомогенного двухфазного потока (модель смешения);

– проведение сравнительного анализа формирования динамических пограничных слоев и, соответственно, пограничных тепловых потоков в теплообменнике-конденсаторе с существующими рекомендациями по интегральному описанию теплообмена на горизонтальных и вертикальных поверхностях теплообмена;

– выработка на основе результатов НИР рекомендации по описанию контактных термических сопротивлений на основе алгебраических интегральных соотношений.

Объектом имитационного моделирования являлся вертикальный трубный пучок теплообменника-конденсатора.

В качестве базовой модели в данном исследовании использовалась система уравнений сохранения, включая уравнения сохранения количества движения и массы для парокапельной смеси в допущениях модели гомогенного двухфазного потока.

Для численной реализации модельного аналога использовался метод конечных элементов в интерпретации системы COMSOL Multiphysics. С целью сокращения числа расчетных ячеек, секции теплообменника представлялись в виде плоских поверхностей.

При проведении вычислительных экспериментов получены характеристики структуры парокапельных потоков в каналах теплообменника и, в частности, динамики образования пленки конденсата на вертикальной теплообменной поверхности при спутном течении пара и конденсата [1]. Вместе с тем, принятая формализация трубного пучка секции теплообменника в виде плоской вертикальной поверхности, позволяет использовать предложенную В.Г. Левичем формулу для расчета локальной толщины ламинарного пограничного слоя при обтекании полубесконечной тонкой пластины для относительно малых чисел Рейнольдса [2].

Дополнительно в таблице 1 представлены значения толщины пограничного слоя $(\delta_{см})^*x$, рассчитанные по формуле В.Г. Левича при локальных параметрах смеси и соответствующие коэффициенты теплообмена $(\alpha_x)^*см$.

Таблица 1*

x	0,1	0,2	0,5	1	1,5	1,95
δ_x	0,04	0,08	0,16	0,30	0,38	0,40
δ_x^*	0,08	0,12	0,18	0,26	0,32	0,36
$(\delta_x)_л$	0,14	0,15	0,22	0,37	0,56	0,88
$(\delta_x)^*_{см}$	0,14	0,20	0,32	0,47	0,60	0,68
α_x^*	8,9	4,6	3,1	2,1	1,7	1,5
$(\alpha_x)^*_{см}$	4,0	2,8	1,8	1,5	1,0	0,7

* В таблице приняты следующие размерности: x – м; $\delta_x, \delta_x^*, (\delta_x)_л, (\delta_{см})^*_x$ – мм; α_x – кВт/(м²·°С). Величина α_x рассчитана с использованием толщины пленки конденсата δ_x .

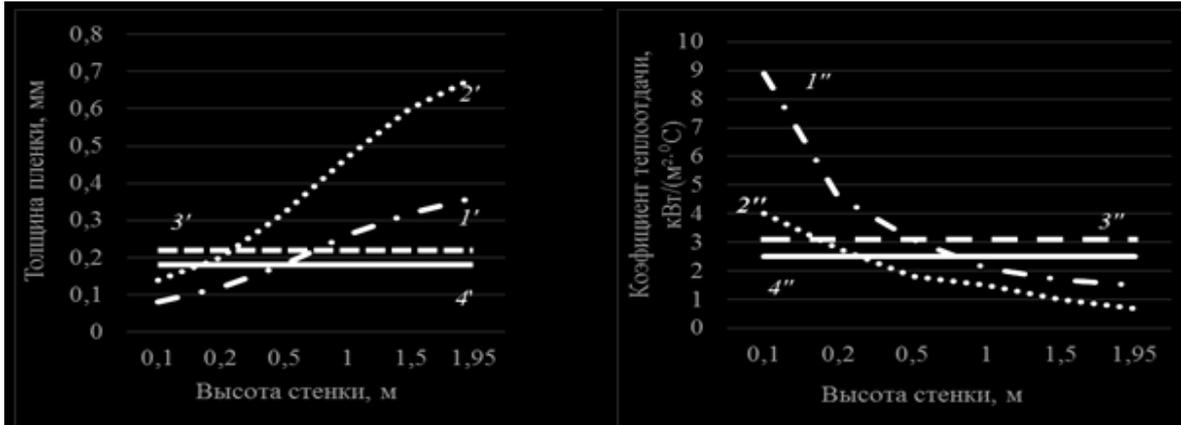
На рисунке 1в рамках тестирования предлагаемого расчетного шаблона, представлены результаты сравнительного анализа расчетных профилей пограничного слоя δx^* , $(\delta x^*)_{см}$ и коэффициентов теплообмена αx^* , $(\alpha x^*)_{см}$ с результатами опытных исследований.

Результаты данных тестовых вычислительных экспериментов свидетельствуют об их физической непротиворечивости и согласованности с общепринятыми рекомендациями.

Это в свою очередь, позволяет сделать вывод:

– во-первых, об обоснованности принятой формализации теплообменной поверхности теплообменника-конденсатора в виде плоских поверхностей;

– во-вторых, возможности задания в качестве граничных условий в рамках гидродинамической модели локального поверхностного стока теплоты с использованием расчетной толщины ламинарного пограничного слоя.



$$1' - \delta_x^* ; 2' - (\delta_x^*)_{cm} ; 3' - \tilde{\delta}_{cm}^* ; 4' - \tilde{\delta}_{mp}^* ; 1'' - \alpha_x^* ; 2'' - (\alpha_x^*)_{cm} ; 3'' - \tilde{\alpha}_{cm}^* ; 4'' - \tilde{\alpha}_{mp}^* \delta x^* ,$$

$$(\delta x^*)_{cm} \text{ и } \alpha x^* ,$$

$(\alpha x^*)_{cm}$ – согласно таблицы 1; $\tilde{\delta}_{cm}^*$, $\tilde{\alpha}_{cm}^*$ и $\tilde{\delta}_{mp}^*$, $\tilde{\alpha}_{mp}^*$ – опытные осредненные по длине экспериментальных участков значения пограничных слоев и коэффициентов теплообмена, определенные для случаев ламинарного течения пленки конденсата при конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке и конденсации пара в вертикальном канале, соответственно (спутное течение пара и конденсата сверху вниз).

Рисунок 1 – Сравнительный анализ расчетных профилей пограничного слоя и коэффициентов теплообмена с результатами опытных исследований

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрижиевский А.А., Трифонов А.Г., Кулик Л.С. Моделирование структуры термоконвективных потоков в системе пассивного отвода тепла АЭС // Труды БГТУ. 2016. № 3: Химия и технология неорганических веществ. С.142-146.
2. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959. 700 с.