

УДК 629.7.018.4

## Валидация программных комплексов для расчетов параметров свободной конвекции в летательных аппаратах при подготовке к пуску

Романяк Александр Юрьевич

romanyak@bmstu.ru

Матвеева Ольга Петровна<sup>(\*)</sup>

matveevaop@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Рассмотрена процедура валидации отечественного программного комплекса «FlowVision» с выбранными настройками для численного моделирования процессов свободного конвективного теплообмена воздуха с конструктивными элементами под головным обтекателем и вокруг него при термостатировании полезного груза в процессе подготовки к пуску летательного аппарата на стартовом комплексе. Для валидации проанализированы известные результаты экспериментальных данных в исследуемой области.

**Ключевые слова:** вертикальный цилиндр или пластина, воздушная среда, теплообмен, FlowVision, головной обтекатель, стартовый комплекс

**Введение.** В процессе термостатирования полезного груза (ПГ) под головным обтекателем (ГО), как существующей конструкции, так и под перспективным ГО со щелевыми каналами [1], свободная конвекция играет ключевую роль в распределении температурного поля газа вокруг ПГ. Свободная конвекция вокруг ГО также вносит свой вклад в температурное поле его конструкции особенно в летний период при подготовке к пуску летательного аппарата (ЛА), что необходимо учитывать при дальнейших расчетах после контакта подъема.

В современной практике все чаще используются различные программные комплексы, позволяющие учитывать геометрию и особенности конструкций, а также различный характер течения газов. В данной работе в качестве программного комплекса используется отечественный продукт «FlowVision» для расчета параметров свободной конвекции. Для определения корректных настроек программного комплекса необходимо выполнить валидацию, что позволит также оценить погрешность расчетов. Поэтому обоснование порядка валидации программного комплекса является важной и актуальной задачей.

**Материалы и методы; результаты.** Наиболее близкой задачей, объединяющей свободную конвекцию газа под ГО и вне его, является омывание вертикального цилиндра или пластины. В настоящее время имеется множество экспериментальных данных по исследованию данного процесса, но наиболее обширные данные для широкого диапазона числа Релея представлены в работе [2]. Число Рэлея чаще всего применяется для оценки свободного конвективного теплообмена. В данной работе для оценки погрешности используется величина расхождения в значениях зависимости числа Нуссельта от числа Р'элея.

Погрешность может возникать из-за необоснованного выбора модели турбулентности в пограничной области. В процессе валидации исследовались следующие модели турбулентности: KEFV; SST; KES; KEAKN; KENL [3]. Данные модели отличаются разными способами замыкания уравнений Навье — Стокса. Критерием эффективности выбора модели турбулентности является минимум отклонения расчетных данных числа Нуссельта, полученных в среде «FlowVision», от экспериментальных значений, полученных в работе [2].

**Заключение.** Проведенная валидация позволяет оценить относительную погрешность каждой из рассмотренных моделей турбулентности. Приоритетной моделью турбулентности является модель KEFV, для которой определена наименьшая максимальная относительная погрешность — не более 30 %. Это значение погрешности относится к началу турбулентного диапазона, то есть при числе Рэлея  $\approx 1,1 \cdot 10^{11}$ .

#### Список источников

- [1] Ромanyak А.Ю., Михайлов И.В., Матвеева О.П. *Способ термостатирования зоны полезного груза в многослойном головном обтекателе космической головной части*. Патент № RU2815684C1 РФ, 2024, бюл. № 8.
- [2] Пчелкин И.М. Теплоотдача вертикальных труб при естественной конвекции. ДАН СССР. Конвективный и лучистый теплообмен: сб. ст. Москва, АН СССР, 1960, с. 56–64.
- [3] *Руководство пользователя “FlowVision”*. URL: [https://flowvision.ru/webhelp/fvru\\_31402/index.html?intro.htm](https://flowvision.ru/webhelp/fvru_31402/index.html?intro.htm) (дата обращения 17.09.2024).