

1997. – т. 40, № 8. – С. 952 - 962.

5. *Кондратьев К.Я.* О возможности определения характеристик поверхностного слоя почвы по его тепловому радиоизлучению / К.Я. Кондратьев, Ю.М. Тимофеев, Е.М Шульгина // Докл. АН СССР. – Т.194, №6. – С. 1313-1315.

Поступила 16.9.2013р.

УДК 621.56 : 629.7

А. А. Чирва, м. Киев

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В СИСТЕМАХ ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА ПАССАЖИРСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ

Abstract. The article presents the basic relations for modeling of thermal processes in heat exchangers used in air treatment systems, and describes some of the features of these devices, which are not taken into account in the simulation, but significantly affect the outlet temperature of heat exchanger.

Актуальность. Для регулирования температур в технических системах применяются теплообменные аппараты, которые в зависимости от взаимного направления течения теплоносителей могут быть прямоточными, противоточными и перекрестноточными. В системах подготовки воздуха (СПВ) для охлаждения отбираемого от двигателя горячего воздуха применяют, в основном, пластинчатые или пластинчато-ребристые теплообменники. Конструктивно они состоят из набора пластин, расположенные одна от другой на некотором расстоянии. Для повышения теплоотдачи и направления потоков воздуха строго по осям теплообменников между пластинами устанавливают оребрение.

При расчетах тепловых и гидравлических характеристик обычно принимается допущение, что тепловые потери в окружающую среду пренебрежимо малы. Теплообменник рассматривается как двухпоточный, т.е. рассматривается только передача тепла от горячего теплоносителя к холодному. Эксперименты, проводимые непосредственно на самолете при различных режимах полета и различных режимах работы СПВ показали, что данное допущение справедливо только при больших значениях расхода воздуха отбираемого от двигателя. При небольших значениях расхода воздуха через горячую линию температура за теплообменником значительно отличалась от расчетных значений полученным по методикам, основанным на приведенных зависимостях. Различие расчетных данных с данными

полученными в эксперименте можно объяснить тепловыми потерями в окружающую среду и в конструкцию самолета. Определение величины таких потерь является актуальной задачей, как в техническом, так и научном плане.

Постановка задачи. Для анализа тепловых и гидравлических характеристик теплообменных аппаратов разработано ряд методик их расчета. Как правило, такие методики ориентированы на двухпоточные схемы. Данная статья посвящена анализу известных таких методик расчета тепловых и гидравлических характеристик теплообменников и исследованию возможности их применения для определения тепловых потерь во внешнюю среду.

Решение задачи. В зависимости от взаимного направления течения теплоносителей теплообменники могут быть прямоточными, противоточными и перекрестноточными. Наиболее эффективными являются теплообменники с противоточным направлением потоков, но ввиду конструктивных особенностей, связанных с изготовлением подводящих трубопроводов, а также ограничений накладываемых конструкцией самолета, наиболее рациональной оказывается установка теплообменников с перекрестноточным направлением потоков.

СПВ обеспечивает подачу воздуха к системам самолета, к которым в зависимости от режимов полета необходимо подать различный расход воздуха с разной температурой, в том числе и к системам, которые работают периодически. В связи с этим, теплообменники, устанавливаемые в СПВ, являются многорежимными. Для регулирования температуры горячего воздуха в СПВ в магистраль подвода холодного воздуха устанавливают заслонку, которая регулирует расход холодного воздуха в зависимости от расхода воздуха через горячую линию, а также от режимов и условий полета самолета.

Целью теплового расчета теплообменника является определение по известным температуре и расходам теплоносителей на входе в теплообменник температур на выходе.

Основными параметрами тепловых характеристик теплообменников являются:

- число единиц переноса, оценивающее габариты теплообменника в сопоставлении с массовыми расходами конкретного теплоносителя:

$$NTU = \frac{a \cdot S}{G \cdot c_p}, \quad (1)$$

где a - коэффициент теплопередачи;

S - площадь поверхности участвующей в теплообмене;

G - массовый расход соответствующего теплоносителя;

c_p - теплоемкость соответствующего теплоносителя;

- эффективность, представляющая отношение действительного переданного количества теплоты к максимально возможному:

$$E = \frac{Q}{Q_{\max}} = E \left(NTU_{\min}, \frac{1}{R}, \text{схема движения} \right), \quad (2)$$

где Q - действительное значение теплового потока в теплообменнике между горячим и холодным теплоносителями;

Q_{\max} - максимально возможное значение теплового потока;

NTU_{\min} - число единиц переноса для теплоносителя с меньшим расходом;

$$R = \frac{G_2 c_{p2}}{G_1 c_{p1}}, \quad (3)$$

- параметр R , пропорциональный изменению температуры одного из теплоносителей:

$$P = \frac{T_{2\text{выход}} - T_{2\text{вход}}}{T_{1\text{вход}} - T_{2\text{вход}}}, \quad (4)$$

- эффективная (средняя) разность температур:

$$\Delta T_m = \Delta T_{lm} F, \quad (5)$$

F - поправочный коэффициент;

где ΔT_{lm} - среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{1\text{вход}} - T_{1\text{выход}}}{R} \delta, \quad (6)$$

$$\delta = \frac{R - 1}{\ln((1 - P)/(1 - PR))}, \quad (7)$$

Основными способами представления характеристик теплообменников являются метод поправочного коэффициента F и θ - метод.

Метод поправочного коэффициента непосредственно дает значение эффективного движущего температурного напора для любой схемы движения теплоносителя.

При помощи коэффициента F можно определить необходимую площадь теплопередающей поверхности и эффективность теплообменника:

$$S = \frac{Q}{a \cdot F \cdot \Delta T_{lm}}, \quad (8)$$

$$E = NTU_{\min} F \frac{\Delta T_{lm}}{\Delta T_{\max}}, \quad (9)$$

$$F = F \left(R, P, \text{схема движения} \right), \quad (10)$$

При использовании θ - метода, если известен параметр θ , эффективность E и параметр P теплообменника можно выразить как:

$$E = NTU_{\min} \theta, \quad (11)$$

$$P = NTU_2 \theta, \quad (12)$$

где

$$\theta = \frac{\Delta T_m}{\Delta T_{lm}} = FP\delta = \frac{P}{NTU_2}, \quad (13)$$

$$\theta = \theta \left(R, NTU_2, \text{схема движения} \right), \quad (14)$$

Для наиболее эффективных теплообменников с противоточным движением теплоносителей $\Delta T_m = \Delta T_{lm}$ и $F = 1$.

Наименее эффективным являются теплообменники с однонаправленным движением теплоносителей. В данном случае:

$$F = \frac{-(R+1)}{\delta \cdot \ln(1 - P(R+1))}, \quad (15)$$

Для перекрестноточных схем движения теплоносителей решение для определения T_m имеет вид:

$$P = \frac{1}{R \cdot N} \sum_{n=0}^p \left(\left(1 - e^{-N} \cdot \sum_{m=0}^n \frac{N^m}{m!} \right) \cdot \left(1 - e^{-RN} \cdot \sum_{m=0}^n \frac{(RN)^m}{m!} \right) \right), \quad (16)$$

где $N = NTU_2$ - число единиц переноса для холодной линии;

p - некоторое целое число.

После определения тепловых параметров теплообменника гидравлические потери давления воздуха обоих теплоносителей оценивают при помощи коэффициента гидравлических потерь ξ .

Приведенные методики расчета тепловых характеристик теплообменника не учитывают потери во внешнюю среду. В то же время первичные теплообменники системы СПВ устанавливаются в пилоне двигателя (рис. 1), жестко крепя к силовой балке пилона. Температура конструкции может колебаться в пределах от $T_{нв}$ до 50°C . Так как пилон двигателя не является герметичным, воздух внутри пилона двигается с некоторой скоростью. Температура продувочного воздуха равна, или немного выше, температуре наружного воздуха. Возникающий тепловой поток от свободной стенки теплообменника уносит часть тепловой энергии к обшивке пилона, на внешней стороне которой из-за больших скоростей полета самолета обеспечивается сильный отвод тепла (коэффициенты теплоотдачи на внешней стороне обшивки пилона обычно составляют от $100 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, на боковой поверхности, до $1000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, в критической точке).

То есть, зависимость эффективности теплообменника можно записать так:

$$E = E \left(NTU_{\min}, \frac{1}{R}, \text{схема движения, окружающая среда} \right). \quad (17)$$

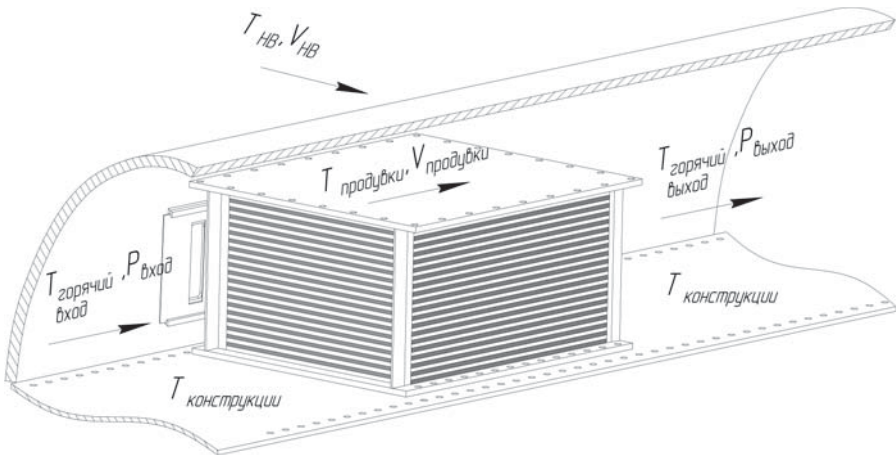


Рис. 1. Пример установки теплообменника в пилоне. Магистральи подвода и отвода воздуха от теплообменника не показаны

При выполнении теплогидравлических расчетов СПВ необходимо учитывать данные тепловые потери. Учет этих потерь наиболее актуален при анализе режима запуска двигателя. Для запуска двигателя используется воздух отбираемый от вспомогательной силовой установки (ВСУ), которая находится на значительном удалении от двигателя. К воздушному стартеру воздух подается через трубопроводы и теплообменник в СПВ. Для запуска необходимо подать на стартер воздух с определенным давлением и температурой. Заслонка продувочного контура теплообменника на данном режиме закрыта, поэтому в данном случае обычно принимается, что температура на выходе из теплообменника равна температуре на входе. Если в теплообменнике значительная часть тепла уходит во внешнюю среду, то понизится температура воздуха на выходе из него, а также и давление воздуха. Запуск двигателя может не осуществиться. Расчет потерь во внешнюю среду особенно важен на этапе проектирования СПВ, когда еще не известна зависимость эффективности теплообменника от режимов работы, полученная по экспериментальным данным. Неправильный расчет тепловых процессов в теплообменнике может привести к выбору ВСУ с заниженными параметрами для силовой установки самолета.

При моделировании тепловых процессов, теплообменники, установленные в СПВ, необходимо рассматривать как трехпоточные с учетом тепловых потерь в конструкцию самолета. Для данного типа теплообменников существует мало расчетных методик в связи со сложностями учета взаимного влияния трех потоков.

Расчетную модель трехпоточного теплообменника с одновременным учетом как тепловых так и гидравлических процессов можно построить решая дифференциальные уравнения теплообмена при помощи метода конечных разностей. Но данный метод требует значительных вычислительных мощностей для задач теплообмена. Поэтому необходимо рассмотреть возможность эквивалентирования для замены всех пластин теплообменника несколькими, а также оптимизировать основные параметры для ускорения расчета.

Выводы. Анализ известных методик расчета тепловых и гидравлических характеристик теплообменных аппаратов, используемых в системах подготовки воздуха пассажирских и транспортных самолетов показал, что существующие методики не позволяют производить расчет тепловых потерь во внешнюю среду. В связи с этим необходима разработка модели теплообменного аппарата, предусматривающая трехпоточную схему движения теплоносителей.

1. *Петухов Б.С.* Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т.1 /Пер. с англ., под ред. Б.С.Петухова, В.К.Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с. с ил.
2. *Петухов Б.С.* Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т.2 /Пер. с англ., под ред. О.Г.Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с. с ил.
3. *Кондращенко В.Я., Самойлов В.Д.* Автоматизация моделирования сложных теплоэнергетических установок. - Киев: Наук.думка, 1987. -183 с.
4. *Герасимов П.В.* Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок/ В.П. Алексеев, Г.Е. Вайнштейн, П.В. Герасимов. – Л.: Энергоиздат, 1987. – 280 с.: ил.
5. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. – М.: Издательство «Высшая школа», 1967.- 600 с.
6. *Воронин Г.И.* Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования: Учебник для авиационных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1978. – 544с., ил.
7. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. – 344 с. с ил.
8. *Самарский А.А., Бабищев П.Н.* Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

Поступила 9.9.2013г.