

О ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

П. А. АНДРИЯНОВ

(Представлена научной итоговой конференцией химико-технологического факультета)

Знание динамических характеристик теплообменных аппаратов позволяет производить расчет систем автоматического регулирования в стадии проектирования. Динамические свойства теплообменников — типичных представителей непрерывнодействующих аппаратов — описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Излагаемый ниже подход к рассмотрению динамических характеристик, связанный с использованием понятия сосредоточенной математической модели, позволяет выявить закономерности построения аналитических выражений и дает возможность: классификации теплообменников по их динамическим свойствам, на основе которой можно составить таблицу их динамических характеристик; исследовать влияние конструктивных и технологических параметров на динамику; получить упрощенные расчетные формулы с использованием обыкновенного дифференциального уравнения для описания динамических свойств распределенной модели теплообменника; разработать способ математического моделирования на аналоговых вычислительных машинах и алгоритмы расчета на ЭЦВМ; получить экспериментально-аналитический метод определения динамических характеристик из экспериментальных данных динамики (кривых разгона и частотных характеристик).

Рассматриваемая здесь модель охватывает большую группу теплообменных аппаратов, объединенных одним общим признаком — постоянством внешнего воздействия, температуры греющего теплоносителя или теплового потока по пространственной координате x , взятой в направлении движения потока нагреваемого теплоносителя.

Сюда относятся:

1. Теплообменники с постоянной температурой греющего теплоносителя, например, в условиях фазового превращения последнего (конденсация, кипение) при постоянном давлении, паровые подогреватели, конденсаторы-холодильники и т. п.;

2. Теплообменники с постоянным тепловым потоком, поступающим от греющего теплоносителя и не зависящим от температуры нагреваемого теплоносителя, например, при радиационном теплообмене, теплопередаче от высокопотенциального источника (пароперегревателя и др.);

3. Теплообменники с внутренними источниками тепла с равномерным по длине тепловыделением (в случае электронагрева, ядерные реакторы и т. п.).

В распределенной модели теплообменника различают три канала внешних воздействий: « $t_0 - t(l, \tau)$ », « $f - t(l, \tau)$ » и « $v - t(l, \tau)$ » с соответствующими им передаточными функциями $W_p(p)$, $W_f(p)$ и $W_v(p)$.

Тогда передаточная функция теплообменника

$$W(p) = W_p(p) + W_f(p) + W_v(p). \quad (2)$$

Динамические свойства рассматриваемых многоемкостных моделей теплообменных аппаратов при обычно принимаемых допущениях (неизменность физических свойств теплоносителей от температуры; высокая турбулентность потока нагреваемого теплоносителя; неограниченная теплопроводность стенок в направлении, перпендикулярном к его движению; постоянство коэффициентов теплоотдачи; пренебрежение осевым тепловым потоком) описываются линейным неоднородным дифференциальным уравнением в частных производных первого порядка относительно пространственной координаты x и любого порядка относительно переменной времени, которое после применения двойного преобразования Лапласа по x и τ примет вид

$$B(p) v \bar{t}(s, p) + A(p) \bar{t}(s, p) = \bar{f}(s, p) + \bar{t}(0, p). \quad (2)$$

Если выделить из распределенной модели, которой соответствует уравнение (2), сосредоточенную математическую модель, с соответствующим ей обыкновенным дифференциальным уравнением

$$A(p) \bar{t}(p) = \bar{f}(p), \quad (3)$$

передаточная функция (1) при $f(x) = \text{const}$ примет вид

$$W(p) = W_p(p) + W_c(p) [1 - W_p(p)] + W_v(p), \quad (4)$$

где:

$$W_f(p) = W_c(p) [1 - W_p(p)]. \quad (5)$$

В свою очередь,

$$W_p(p) = \exp\left(-\frac{\tau_0}{T}\right) \exp(-\tau_0 p) \prod_{n=1}^{n-1} \exp\frac{\lambda \tau_0}{p + \beta}, \quad (6)$$

причем звенья с передаточной функцией

$$\exp\frac{\lambda \tau_0}{p + \beta} \quad (7)$$

появляются в двух- и многоемкостных моделях теплообменных аппаратов.

На основе изложенного подхода к анализу динамических характеристик и в соответствии с вытекающей из этого классификацией теплообменных аппаратов по характеру их динамических свойств по основному регулирующему каналу построена таблица точных аналитических выражений для определения динамических характеристик одно- и двухемкостных моделей с учетом тепловых емкостей нагреваемого теплоносителя и стенки теплообменных аппаратов с постоянной по x величине внешнего воздействия. Внешним воздействием являются: температура стенки для одноемкостной модели или температура греющего теплоносителя для двухемкостной модели; тепло, выделяющееся в нагреваемом теплоносителе или проникающее в него от стенки для одноемкостной модели, или тепло, выделяющееся в стенке или проникающее через ее внешнюю поверхность для двухемкостных моделей.

Сюда относится большая группа теплообменных аппаратов: паровые подогреватели, конденсаторы-холодильники, электронагреватели, пароперегреватели, тепловые необогреваемые трубы и др. [1].

На основе анализа количественного влияния слагающих аналитических выражений предложена методика расчета по упрощенным формулам с широким использованием обыкновенного дифференциального уравнения сосредоточенной математической модели [2].

Описание переходной характеристики в начальном интервале времени решением обыкновенного дифференциального уравнения вместе с выражением установившегося значения используется для определения динамических характеристик распределенных моделей из экспериментальных кривых разгона, что положено в основу предлагаемого экспериментально-аналитического метода определения динамических характеристик теплообменных аппаратов.

В нижеследующих статьях приводятся алгоритмы расчета переходных характеристик по точным расчетным формулам.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Андриянов, И. М. Масленников. Методы аналитического определения и анализа динамических характеристик непрерывнодействующих аппаратов. Тепло- и массообмен, т. 6, 421—433, Минск, 1966.
2. П. А. Андриянов. Кандидатская диссертация, Москва, МИХМ, 1964.

Обозначения

$t(l, \tau)$ — изменение температуры нагреваемого теплоносителя на выходе из теплообменника;

$t_0 \equiv t(0, \tau)$ — температура на входе в теплообменник;

v — скорость движения нагреваемого теплоносителя;

τ_0 — время нахождения жидкости в процессе нагрева в аппарате;

T, λ, β — постоянные коэффициенты, зависящие от конструктивных и технологических параметров;

$f(x, \tau)$ — изменение внешнего воздействия (температуры греющего теплоносителя или теплового потока);

p, s — переменные преобразования Лапласа соответственно по τ и x .

$A(p), B(p)$ — полиномы от p .

$W(p)$ — передаточная функция.