

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКОГО РАСХОДОМЕРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА БИОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

В процессе конструирования автотранспорта особую значимость приобретает и необходимость контроля расхода топлива. На решение данной задачи ориентированы расходомеры различного типа, которые позволяют предотвратить нецелевое использование горючего. Кроме автомобильного и грузового транспорта расходомеры используются в: сельхозтехнике (вилочные и другие погрузчики, комбайны, тракторы), строительной спецтехнике, речном и морском транспорте, пассажирских автобусах и др.

Сегодня есть различные виды расходомеров топлива, классификация которых учитывает тип топлива, наличие и вид выходного сигнала (аналоговый, импульсный и т. д.), вид системы передачи данных, наличие собственного индикатора и некоторые другие параметры. В списке наиболее востребованных расходомеров представлены: кориолисовые, ультразвуковые, турбинные, поршневые, калометрические, поплавковые и др. Каждый из данных видов расходомеров жидкости имеет свою специфику, особенности и недостатки.

В настоящее время одним из наиболее совершенных устройств для измерения расхода биологического топлива считается термоанемометричный расходомер (ТАР). Принцип его действия состоит в нагреве потока моторного топлива и измерении распределения температурного поля, созданного нагревателем в этом потоке. Изменения температурного поля вдоль потока моторного топлива связаны определенной функциональной зависимостью с величиной расхода топлива. Поэтому, измеряя распределение температурного поля вдоль оси потока моторного топлива, можно с высокой точностью определить его расход. Поэтому задача исследования ТАР, разработка его математической модели является актуальной.

В существующих расходомерах для измерений теплового поля используются один или два термопреобразователя, расположенных непосредственно возле нагревателя или с обеих сторон на некотором расстоянии от него. Математическая модель существующих расходомеров сводится к уравнению теплового баланса нагревателя, охлаждаемого потоком жидкости, или к определению разности температур в двух фиксированных точках. В новом высокоточном расходомере для повышения точности определения расхода моторного топлива использованы группы термопреобразователей. Такое решение обеспечивает определение величины температурного поля в множестве точек потока моторного топлива, а последующая алгоритмическая обработка полученных значений на ЭВМ компенсирует ряд погрешностей измерений.

В предлагаемой математической модели температурного поля в потоке биотоплива, проходящего через ТАР, учтены следующие особенности: тепловое влияние нагревателя имеет постоянную мощность; термопреобразователи расположены вдоль оси потока биотоплива, поэтому распределение температур определено вдоль одной пространственной координаты; рассмотрены ламинарный и турбулентный режимы течения биотоплива; поскольку диапазон изменения начальной температуры биотоплива при эксплуатации ТАР достаточно широк, выполнена коррекция ТАР с учетом изменения температуры.

При расчете теплового потока между поверхностью нагревателя и средой биотоплива плотность теплового потока представим в виде закона:

$$q = \alpha \Delta T, \quad (1)$$

где ΔT – перепад температур между поверхностью и окружающей средой; α – коэффициент конвективной теплоотдачи.

Уравнение для теплового потока биотоплива в неподвижной среде с учетом теплопроводности имеет вид

$$Q = -\lambda A \frac{dT}{dR} = -\lambda 4\pi R^2 \left(-\frac{R_n}{R^2} \right) (T_0 - T_n) = 4\pi \lambda R^2 (T_0 - T_n), \quad (2)$$

где T_n – температура на поверхности нагревателя; T_0 – начальная температура биотоплива.

Тепловой поток радиусом R_n и площадью поверхности S_n можно вычислить, используя уравнение (1):

$$Q = q S_n = 4\pi R_n^2 (T_0 - T_n), \quad (3)$$

Из (1) и (2) получаем $\alpha = \lambda / R_n$.

Выражение для расчета температуры нагревателя при скорости движения биотоплива $v = const$ имеет следующий вид:

$$T_n = T_0 + \frac{P}{\pi d_n K_1} \left(\frac{\pi v d_{mp}}{4W} \right)^{K_2} (\mu C)^{-K_3} (\lambda)^{1-K_3}. \quad (4)$$

Здесь P – мощность нагревателя; μ – коэффициент динамической вязкости биотоплива; C и λ – теплоемкость и вязкость биотоплива; d_{mp} – диаметр трубки ТАР; $K_1 = K_2 = 0,5$; l_n – расстояние до нагревателя; W – объемный расход биотоплива:

$$W = K_4 K_5 (T_0 - T_n)^{-1/K_2},$$

где K_4 – коэффициент, учитывающий конструктивные параметры ТАР:

$$K_4 = \frac{\pi d_{mp}}{4} \left(\frac{P}{\pi d_n} \right)^{1/K_2};$$

$$K_5 = \nu(\mu C)^{K_3/K_2} (\lambda)^{(K_3-1)/K_2} K_1^{-1/K_2}.$$

K_5 — коэффициент, учитывающий физико-химические свойства биотоплива и режим течения через расходомер.

С использованием формул (3), (4) выполнено численное моделирование на ЭВМ теплового баланса нагревателя в подвижном потоке топлива через ТАР. После обработки результатов на ЭВМ получены математическая модель (5) распределения температурного поля вдоль трубки и уточненное значение расхода биотоплива.

$$T(x) = T_n - \left[\frac{\pi x \alpha}{W} - \frac{7}{48} \right] \frac{4P}{\pi d_{mp} \lambda}. \quad (5)$$

Измеряя с помощью термопреобразователя температуру поверхности нагревателя и температуру биотоплива на расстоянии x от нагревателя, определяем объемный расход биотоплива:

$$W = \frac{\pi x \alpha}{\frac{\pi d_{mp} \lambda (T_n - T(x))}{4P} + \frac{7}{48}}. \quad (6)$$

При турбулентном течении биотоплива окончательное выражение для расчета температуры нагревателя имеет вид

$$T(x) = T_n - T \exp \left\{ -0,1 \left[\left(\frac{\pi}{4} \right)^{0,2} \frac{x(\nu)^{0,2}}{(d_{mp})^{0,8} (W)^{0,2}} \right] \right\} + T. \quad (7)$$

Измеряя с помощью термопреобразователя температуру поверхности нагревателя, температуру окружающей среды и температуру биотоплива на расстоянии x от нагревателя, определяем объемный расход биотоплива:

$$W = \left(\frac{K_8 K_9 x}{\ln[T(x) - T] - \ln[T_n - T]} \right)^5, \quad (8)$$

где $K_8 = -0,11(\pi/4)^{0,2}$, $K_9 = (\nu)^{0,2}/(d_{mp})^{0,8}$.

Полученные результаты моделирования на ЭВМ свидетельствуют о том, что объемный расход топлива зависит от погрешностей измерения температуры термопреобразователями в диапазоне относительных погрешностей от 0,01 до 1,0 %.