**Лекция 9. Термодинамический расчет стационарных течений химически реагирующих сред.**

[Гидродинамическая модель стационарных течений химически реагирующих сред. 1](#_Toc427262590)

[Уравнения сохранения 1](#_Toc427262591)

# Гидродинамическая модель стационарных течений химически реагирующих сред.

Стационарные газодинамические процессы, в которых происходит изменение химического состава системы, могут быть рассчитаны на основе термодинамики. К подобным процессам относятся, в частности, ударные и детонационные волны, течения в каналах с переменным сечением.

*Предположения:*

* стационарность течения;
* отсутствие источников и стоков масс;
* отсутствие внешних объемных сил;
* отсутствие подвода извне энергии, отличной от работы макроскопических механических сил;
* отсутствие взаимодействия между фазами, кроме химического и теплового;
* отсутствие касательных составляющих тензора напряжения; однородность смеси по сечению, перпендикулярному потоку;
* равенство давления во всех фазах;
* возможность заданного различия скоростей потоков газовой и конденсированных фаз.

Введем обозначения:

 — скорость потока *k*-й фазы

τ – элемент объема

δ*mk –* масса *k*-ой фазы в элементе объема τ

 плотность *k*-ой фазы

 – масса фазы

 *Hk* – удельная энтальпия  *k*-ой фазы

δ*mik –* масса *i*-го элемента в *k*-ой фазе в элементе объема τ

 плотность *i*-го элемента *k*-ой фазы в данной точке

В общем случае *wj* — скорость *j*-й конденсированной частицы может отличаться от скорости газового потока *wg*, – единичный вектор внешней нормали к поверхности .

# Уравнения сохранения потоков массы, импульса и энергии

1. *Уравнение сохранения массы вещества через поверхность σ:*

Уравнения сохранения потоков массы вещества через замкнутую поверхность , ограничивающую произвольный объем *V* рассматриваемой сплошной среды, записывается при отсутствии источников и стоков массы в объеме *V* в виде

σ

— скорость потока *k*-й фазы

*V*

1. *Уравнение сохранения потока импульса*

Уравнение сохранения потока импульса через поверхность  в рамках предположений о стационарности течения, об отсутствии источников и стоков массы, объемных внешних сил, касательных составляющих тензора напряжения и о равенстве давления во всех фазах, записывается в форме:

Здесь учтен тот факт, что нормальное напряжение, приложенное в точках поверхности , направлено в сторону, противоположную вектору внешней нормали к поверхности ,т.е. внутрь объема *V*.

1. *Уравнение сохранения потока энергии*

Уравнение сохранения потока энергии через поверхность  в рамках предположений о стационарности течения, об отсутствии источников и стоков массы, внешних объемных сил, подвода из вне энергии, отличной от работы макроскопических механических сил, об отсутствии поверхностных эффектов на границе раздела фаз, касательных составляющих тензора напряжения и о равенстве давления во всех фазах записывается следующим образом:

Ввиду произвольности объема *V* выберем его так, чтобы он был ограничен боковой поверхностью трубки тока и сечениями трубки тока, перпендикулярными направлению потока в каждой точке сечения. Тогда с учетом однородности среды по сечению, перпендикулярному потоку, уравнения сохранения приводятся к виду:

 

где  и  площади сечений 1 и 2, **.**­ площадь боковой поверхности трубки тока, **.**­ проекция скороcти на направление нормали к поверхности . Поскольку рассматриваются сечения трубки тока, перпендикулярные направлению потока в каждой точке сечения, то скорость  равна длине вектора скорости , т.е. .

Отметим, что уравнения сохранения потоков массы, импульса и энергии выполняются строго, причем уравнение для потока импульса векторное.

Теперь рассмотрим уравнения сохранения в одномерном приближении. В этом случае сечения 1 и 2 трубки тока становятся плоскими. Если течение в действительности неодномерное, то уравнения сохранения в одномерном приближении выполняются нестрого, причем точность этих уравнений тем выше, чем меньше угол между направлениями скорости потока и осью трубки тока в рассматриваемых сечениях. Если поток в сечениях 1 и 2 одномерен, то независимо от характера течения между этими сечениями уравнения сохранения выполняются строго.

Проекция уравнения сохранения потока импульса на ось направления потока в одномерном приближении записывается в виде:

,

где ­ единичный вектор, направленный по оси потока. В одномерном приближении неодномерного течения третье слагаемое может быть достаточно большим и пренебрегать им нельзя.

В случае строго одномерного течения, когда площадь поперечного сечения трубки тока неизменна, уравнения сохранения потоков массы, импульса и энергии многофазной сплошной среды принимает следующий вид

В рамках указанных предположений легко получить интегральные уравнения гидродинамической модели *для одномерного течения c постоянной площадью и формой сечения A1=A2:*

*wg*

 *wcj*

A2

A1

 уравнение сохранения потока массы смеси

  (1)

 уравнение сохранения потока импульса

 (2)

 уравнение сохранения потока энергии

 (3)

 уравнение сохранения потоков массы химических элементов

 (4)

 *i*=1,..., *NEL* ,

где ρk — масса *k*-й фазы в единичном элементарном объеме смеси; *wk* — скорость потока *k*-й фазы; *Hk* — удельная энтальпия *k*-й фазы; ω*ik* — масса *i*-го химического элемента, находящегося в *k*-й фазе, в единичной элементарном объеме смеси, индексы 1 и 2 относится к исходному и конечному сечениям трубки тока.

Уравнения (1) — (3) записаны для случая, когда площадь поперечного сечения трубки тока постоянна.

Уравнения (4) являются аналогом уравнений массового баланса химических элементов и необходимы в случае различия скоростей потоков фаз.