

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГОРЕНИИ БАЛЛИСТИТНЫХ ТОПЛИВ

А.М Липанов, И.Г. Русяк, А.В. Трубачёв

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук
125047, Москва, Россия*

Созданные впервые в СССР в 1925 году баллиститные топлива (БТ) по – прежнему используются на практике. Исследованию закономерностей их горения посвящены многочисленные работы, но без сколько – нибудь подробного математического описания физико – химических процессов как в газовой , так и в конденсированной фазах. В конденсированной фазе (к – фазе) БТ в процессе их горения образуются жидко – вязкий слой (ЖВС) и жидко – вязкий реакционный слой (ЖВРС). Химические реакции протекают в ЖВРС, а диффузионные процессы и в ЖВРС, и в ЖВС. В работе приводится совокупность химических реакций распада нитроцеллюлозы (пироксилина) и нитроглицерина, являющихся основными компонентами БТ. Наряду с данными эндотермическими процессами рассматривается совокупность химических реакций между продуктами распада, являющихся экзотермическими. Вместе с распадом основных компонентов БТ учитывается деструкция стабилизатора топлива – дифениламина. При рассмотрении экзотермических процессов учтено влияние на химические реакции катализатора горения – диоксида свинца (PbO_2). Протекающие химические реакции определяют совокупность появляющихся веществ, для концентраций которых записаны соответствующие дифференциальные уравнения. Упомянутые дифференциальные уравнения для концентраций учитывают соответствующие им диффузионные процессы и химические реакции.

В работе показано, что вследствие испарения перемещение фазовой поверхности начинается сразу после возникновения ЖВС, когда ещё нет процессов распада компонентов топлива. Этот процесс продолжается и после возникновения ЖВРС, пока после достижения соответствующей степени деструкции компонентов БТ он не перейдёт в режим газификации. Переход от процесса испарения к процессу газификации увязывается с величиной молекулярной массы распадающихся компонентов БТ, а молекулярная масса однозначно связана с агрегатным состоянием вещества.

Находящиеся в к – фазе вещества как вследствие испарения, так и вследствие газификации переходят в газовую фазу. Поэтому концентрации одних и тех же веществ необходимо рассчитывать и в конденсированной, и в газовой фазах. Газовая же фаза обладает существенной спецификой. Здесь продукты распада могут или только оттекать от поверхности горения, или двигаться вдоль данной поверхности в ламинарном или турбулентном режимах. Всё это учитывается в постановке задачи, а сама задача становится сопряжённой. Математически переход из одного агрегатного состояния к другому сводится к написанию соотношений, получаемых на основе законов сохранения массы и энергии и используемых непосредственно на фазовой поверхности. Дополнительно к ним при расчёте температуры учитывается её непрерывность на фазовой поверхности, а для расчёта концентраций используется непрерывность изобарно – изотермического потенциала. В работе выводятся соотношения для концентраций, связывающие их на фазовой поверхности как для расчётного случая, когда продольного относительно поверхности горения движения нет, так и при наличии продольного движения.

Выводятся две системы подвижных координат, одна из которых удобна для выпол-

нения расчётов в ж – фазе, а другая – в газовой фазе. Для каждой из систем координат записываются системы дифференциальных уравнений.

Показывается, как можно данные системы дифференциальных уравнений решать численно по явной или неявной разностным схемам, используя необходимые начальные и граничные условия.

Результатом решения данной задачи будет исследование закономерностей протекания физико – химических процессов и в газовой, и в конденсированной фазах, но главное - это определение теоретическим путём скорости горения БТ. Предлагаемый метод позволяет определять скорость горения как в нестационарных условиях, так и в стационарных. Пока же величина скорости горения находится только экспериментально и прежде всего для стационарных условий. С получением метода теоретического определения скорости горения откроется перспектива для более аккуратного решения ряда других задач и прежде всего связанных с нестационарными процессами.