

Анализ нестационарных газо-парожидкостных потоков

Б. Л. Канцырев, г. Москва

Возможности анализа явлений, связанных с течением жидкостей и газов, существенно расширены благодаря применению средств вычислительной гидродинамики.

Поскольку такие явления составляют основу многих процессов в промышленности, численный анализ становится неотъемлемой частью инженерной поддержки.

Конкретным примером такого анализа может быть расчет трубопроводов для более точного определения их гидравлических сопротивлений [1].

Следует отметить, что проведенное в [1] сопоставление показало систематическое превышение значений сопротивлений, рассчитанных по имеющимся в литературе справочным данным [2] по сравнению с уточненными.

Таким образом, применение численного анализа актуально даже при моделировании однофазных стационарных течений.

В настоящей работе предложены два примера анализа более сложных режимов нестационарных течений газожидкостной среды.

1. Анализ установления противоточного течения в вертикальном канале.

Рассмотрим течение газожидкостного потока в вертикальной цилиндрической колонне с коаксиальной перегородкой.

Такая колонна представляет собой упрощенную модель химического или биологического реактора, в котором восходящий поток газа взаимодействует с потоком жидкости. В нижней части колонны происходит впрыск газа в жидкость.

Часть потока газа попадает в зазор между перегородкой и наружной стенкой колонны и всплывает.

Основной поток газа движется вверх в средней части колонны. Вместе с ним вверх поднимается жидкость, которая затем попадает в зазор и опускается вниз.

На рис. 1.1 и 1.2 стрелками показаны распределения скорости газа и жидкости в продольном сечении колонны.

Данный расчет моделирует гидравлическую часть процессов, происходящих в реакторе, позволяет определить относительные скорости потоков с учетом взаимодействия пузырьков между собой, скорость всплытия пузырьков, распределение газосодержания вдоль колонны, возможность попадания пузырьков в область опускного течения жидкости.

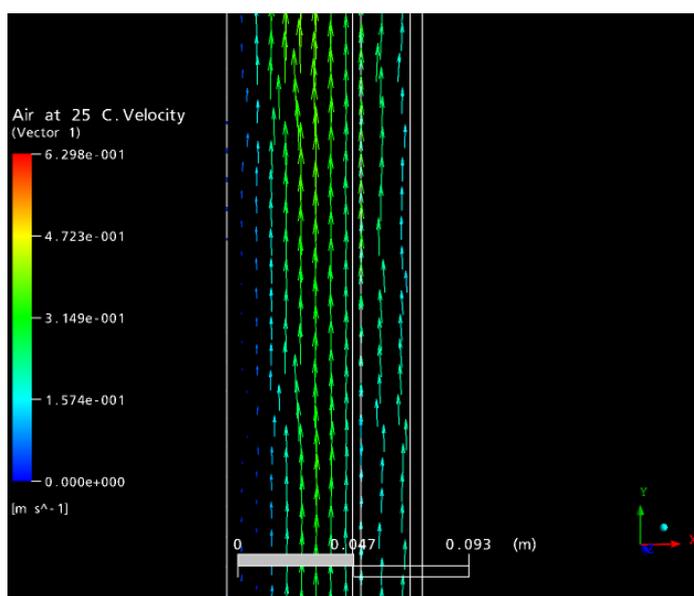


Рис. 1.1. Распределение скорости газа в продольном сечении колонны

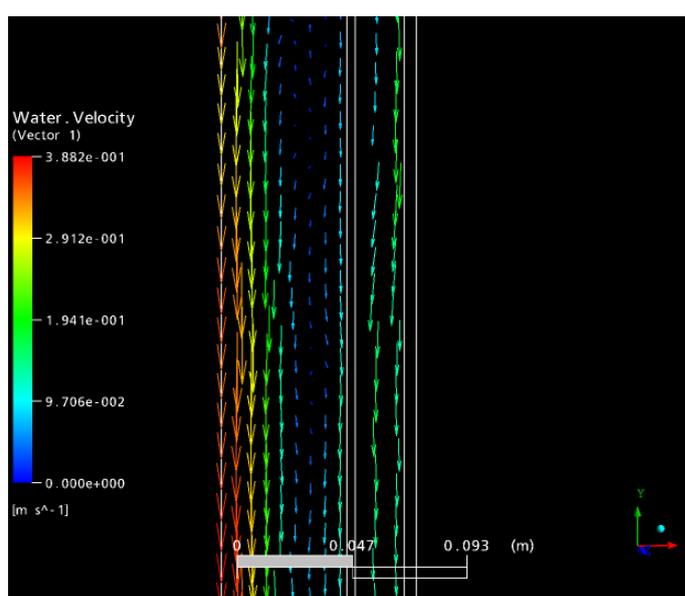


Рис. 1.2. Распределение скорости жидкости в продольном сечении колонны

2. Анализ аварийной ситуации при разрыве трубопровода в помещении.

В настоящее время весьма актуальны задачи обеспечения технической безопасности на промышленных объектах, в особенности на энергоустановках.

Решения этих задач должны учитываться как на этапе проектирования, так и при эксплуатации. Известно, что большая часть нормативной документации в современных технических обоснованиях безопасности приводится в виде оценок или расчетов стационарных режимов.

Этим обуславливается большой консерватизм (т.е. «запас прочности», заложенный в расчет), который затрудняет практическое выполнение требований ТОВов.

С другой стороны, не учитывается большое количество вероятных аварийных и переходных технологических режимов, для анализа которых требуются сложные нестационарные математические модели и программные коды.

Код CFX предоставляет возможность для таких расчетов. В данной работе приведен расчет теплогидравлических процессов при аварийной ситуации, вызванной разрывом трубопровода высокого давления в помещении.

Рассмотрена задача о поперечном разрыве трубопровода диаметром 10 см с последующим вытеканием вскипающей воды в помещение с размерами 2x2x3 м.

Давление в трубопроводе $P = 0.4 \text{ МПа}$. Температура потока $T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, что соответствует температуре насыщенного пара.

При данных условиях за короткое время (около 10^{-3} с) на срезе разрыва возникает критический режим истечения с максимальным удельным расходом около $10^4 \text{ кг/м}^2/\text{с}$. Вскипающая вода истекает из разрыва.

Происходит интенсивное парообразование и турбулентное перемешивание. Горячая паровоздушная смесь с капельными включениями воды быстро заполняет помещение. На рис. 2.1 представлена изотермическая поверхность с температурой среды $100 \text{ }^\circ\text{C}$ для момента времени 1 с от начала процесса. Видно, что уже через 1 сек пребывание человека в помещении становится смертельно опасным.

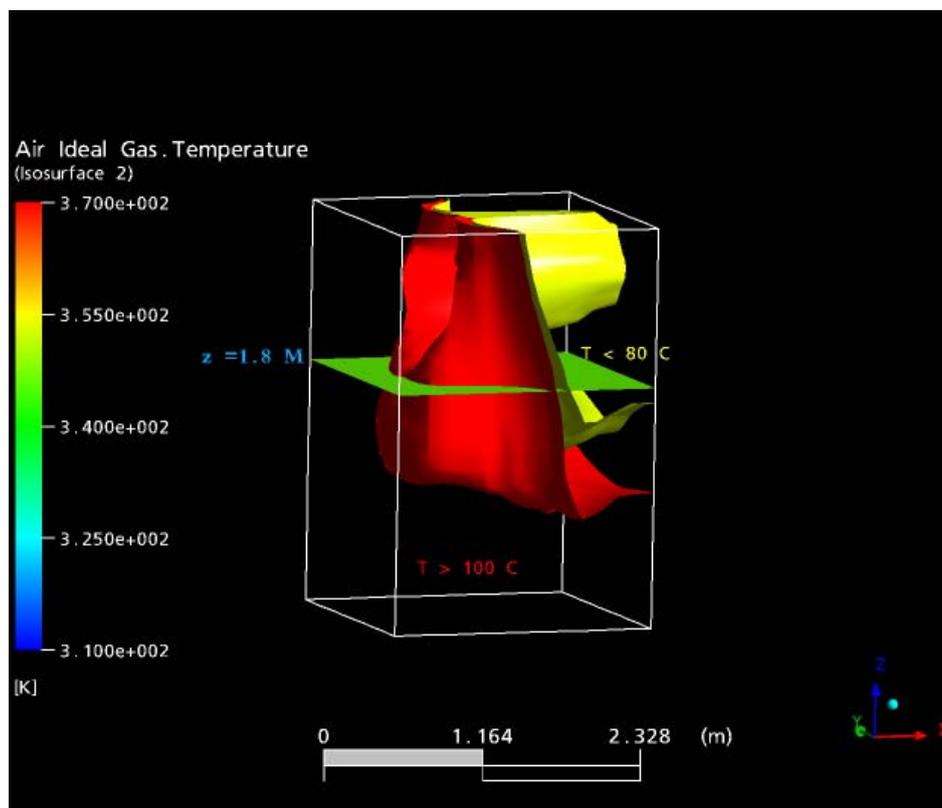


Рис. 2.1. Изотермическая поверхность с температурой среды $100 \text{ }^\circ\text{C}$ для $t = 1 \text{ с}$

Следует отметить, что приведенный пример не учитывает возможные последствия, обусловленные действием реактивной силы потока, истекающего из разрыва.

Для разрыва, соответствующего примеру, приведенному на рис. 2.1, это усилие превышает 1 тонну.

Таким образом, данная аварийная ситуация способна развиваться и в короткое время привести к вторичным разрывам, деформациям элементов оборудования и тяжелым последствиям.

Несмотря на иллюстративный характер полученных результатов, очевидно, что проведение подобных нестационарных расчетов полезно при оценке возможных аварийных ситуаций с точки зрения безопасности персонала, поскольку позволяет заранее определить время развития вероятной аварии и ее пространственный масштаб.

Последнее обстоятельство весьма важно как в условиях, соответствующих энергоустановкам в промышленности, на кораблях и подводных лодках, так и в условиях жилых помещений с паровым и водяным отоплением.

Список литературы

1. Новосельский О. Ю. и др. Применение вычислительной гидрогазодинамики для определения гидравлических характеристик трубопроводов АЭС. Теплоэнергетика. №9, 2006, стр. 49.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение. 1975.