

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ВСКИПАЮЩЕЙ ВОДЫ ИЗ ЁМКОСТИ

Б. Л. Канцырев, г. Москва

Рассмотрена задача о моделировании критического истечения вскипающей воды в атмосферу из трубопровода, соединённого с ёмкостью, заполненной водой под высоким давлением.

Получены нестационарные распределения параметров потока и зависимость реактивной силы от времени..

В данной работе представлена задача расчета нестационарного истечения вскипающей воды из сосуда высокого давления через патрубок.

Указанная задача типична при расчете перепадов давлений в теплогидравлических сетях для нестационарных режимов с двухфазными потоками.

Она возникает также при анализе аварийных ситуаций при разрыве трубопроводов.

Теплогидравлическая модель включает в себя замкнутую систему уравнений гидродинамики нестационарного многофазного потока.

Уравнения количества движения и баланса энергии соответствуют гомогенной модели пароводяного потока.

Принято предположение о термодинамическом и скоростном равновесии для жидкой и паровой фазы потока, которое допустимо в данном случае.

Термодинамические свойства воды и водяного пара представлены соответствующими таблицами. Уравнения неразрывности учтены для каждой из компонент.

Турбулентные пульсации учтены в рамках К-ε модели турбулентности.

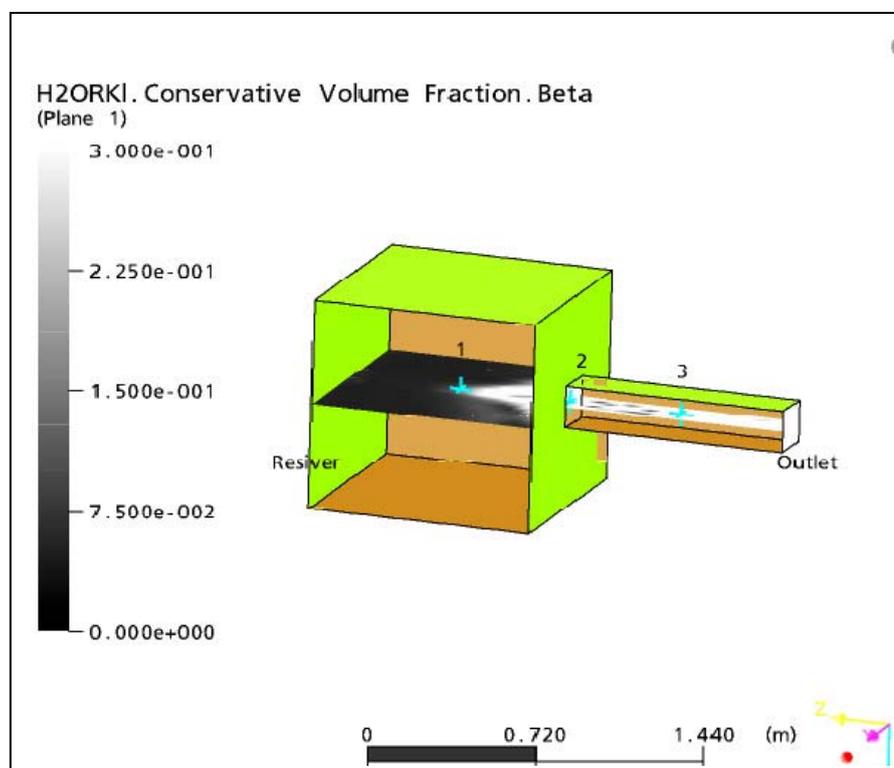


Рис 1. Схема расчётной области.

Геометрия расчетной области представлена на рис. 1.

Первоначально емкость и патрубок заполнены водой с температурой, соответствующей состоянию насыщения при давлении $P_0 = 15$ Мпа.

В момент времени $t=0$ патрубок мгновенно открывается в атмосферу ($P_{\text{атм}} = 0.1$ Мпа).

Вследствие этого от среза патрубка к ёмкости распространяется волна разрежения, в которой происходит снижение давления и вскипание истекающей воды.

На выходном срезе патрубка устанавливается критический режим течения, т.е. режим при котором скорость течения достигает местной скорости звука, а давление может оказаться значительно выше атмосферного.

В расчетах существенно то, что указанная скорость звука, определяющая темп опорожнения емкости, может сильно отличаться от скорости звука в как в паровой, так и в жидкой фазе и зависит от объемного содержания пара.

После того, как волна разрежения достигает места врезки патрубка в ёмкость, в обратном направлении начинает двигаться волна сжатия.

Последовательное чередование указанных волн вызывает пульсации параметров потока в патрубке. Частота пульсаций определяется длиной патрубка и скоростью звука во вскипающей воде.

На рис 2. показана зависимость от времени для давления в различных точках расчетной области для первых 10 мс процесса.

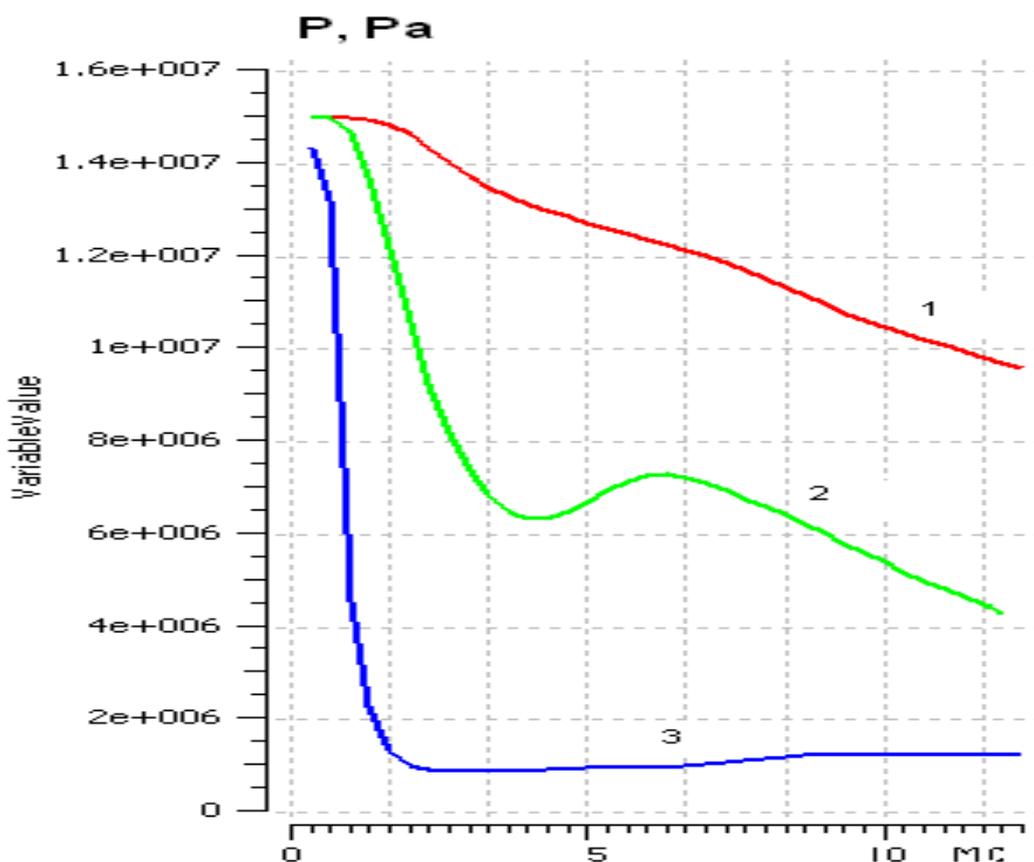


Рис 2.- Зависимость давления от времени в точках, соответствующих:
1- центру ёмкости, 2,3 – продольной оси симметрии патрубка с координатой 'Z' соответственно – 0.5 м (врезка патрубка в ёмкость) и –1 м (половина длины патрубка).
Один шаг по времени соответствует $3 \cdot 10^{-4}$ сек.

На рис 3. представлена зависимость от времени для реактивного усилия, созданного истекающим потоком и действующего на конструкцию.

Видно, что величина усилия определяется пульсациями, обусловленными движением волн разрежения – сжатия, процессом разгона массы жидкости, вытекающей из ёмкости, а также постепенным опорожнением емкости.

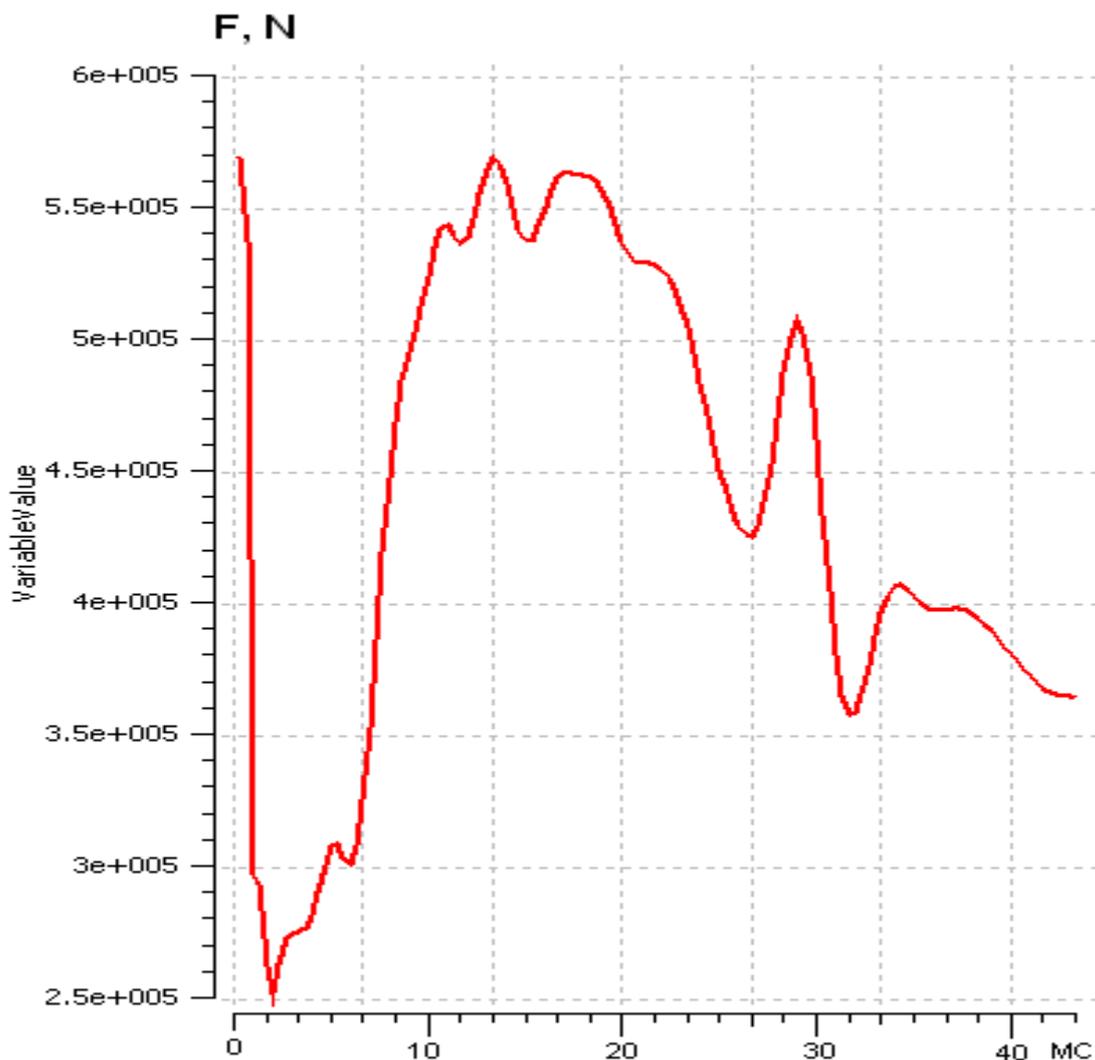


Рис 3.- Зависимость от времени для реактивного усилия [Н]. Один шаг по времени соответствует $3 \cdot 10^{-4}$ сек.