

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РАЗРЫВА ГАЗОПРОВОДА НА ПОДВОДНОМ ПЕРЕХОДЕ

С.В. Ганага, С.А. Ковалев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

С целью определения уровней механических воздействующих факторов на объекты, расположенные в непосредственной близости от места аварии, с разрывом подводного магистрального трубопровода проводилось численное моделирование последствий этого разрыва. Общий вид моделей среды и трубопроводов, разработанных в пакете прикладных программ ANSYS/LS-DYNA, представлен на рис. 1.

Подводный переход моделировался в двухниточном исполнении (основная и резервная нитки), расстояние между трубами – 2 м. Трубы имели внутренний диаметр 1 м, материал – сталь 17ГС, толщину стенки – 20 мм. Снаружи трубы изолировались бетонной рубашкой толщиной 100 мм. Трубопроводы располагались на глубине 25 м. Давление газа в трубе – 7,5 МПа.

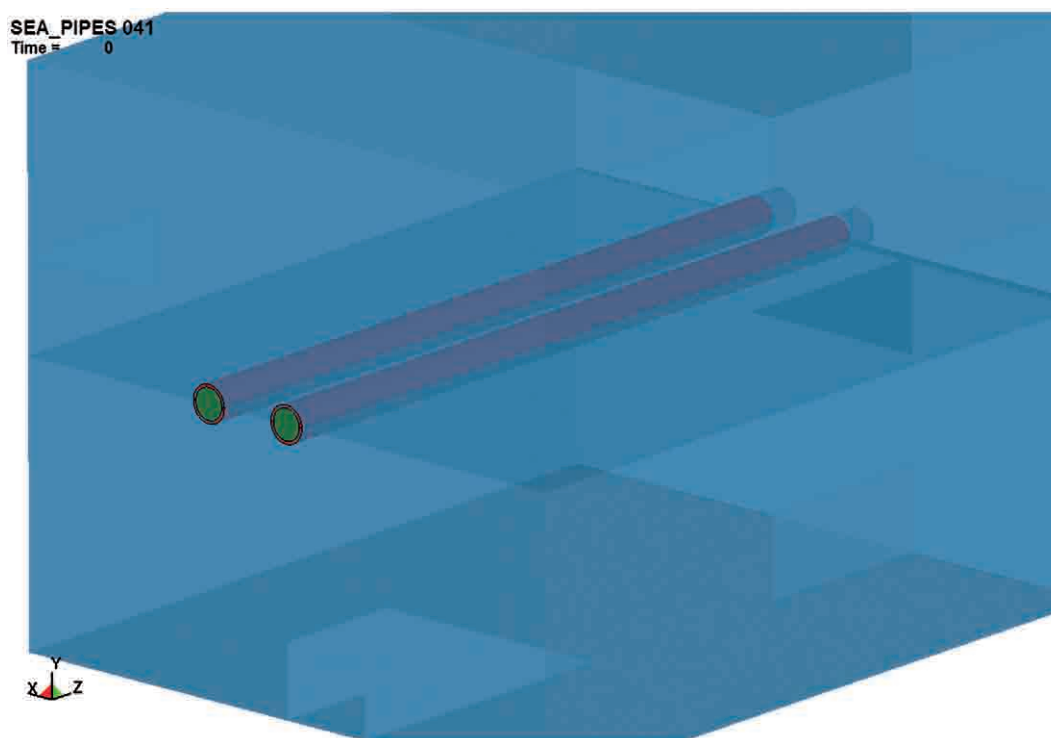
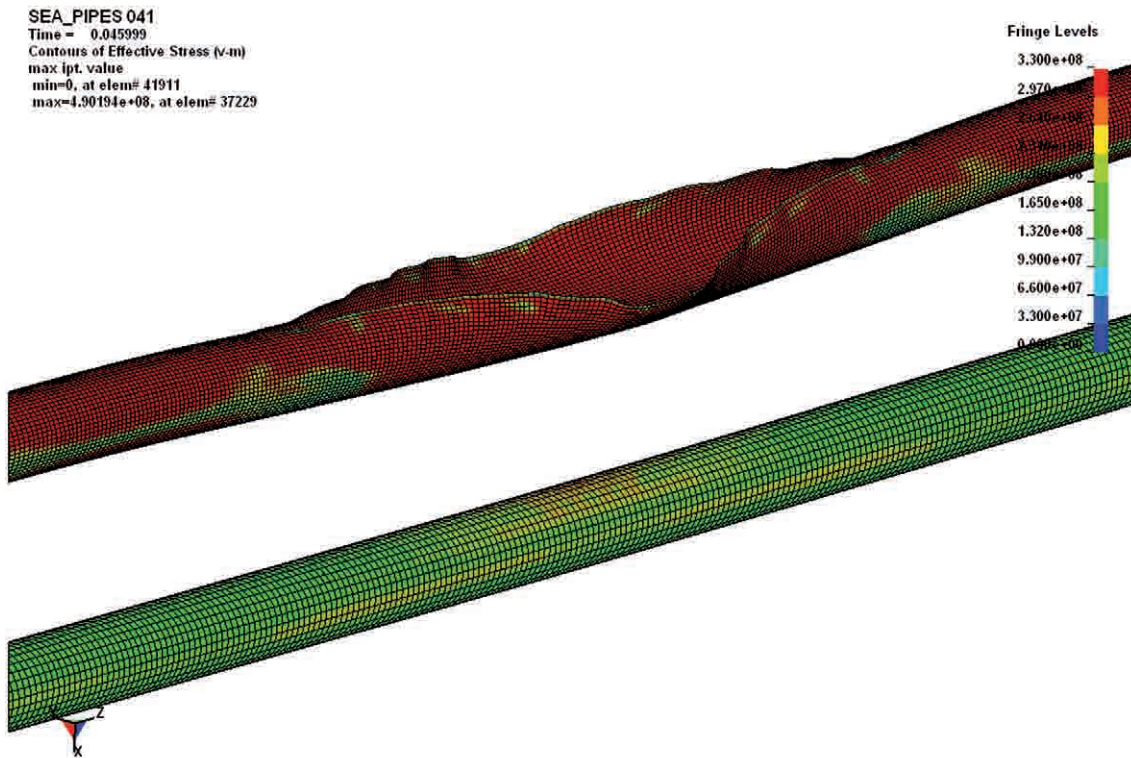


Рис. 1. Модель двухниточного подводного трубопровода

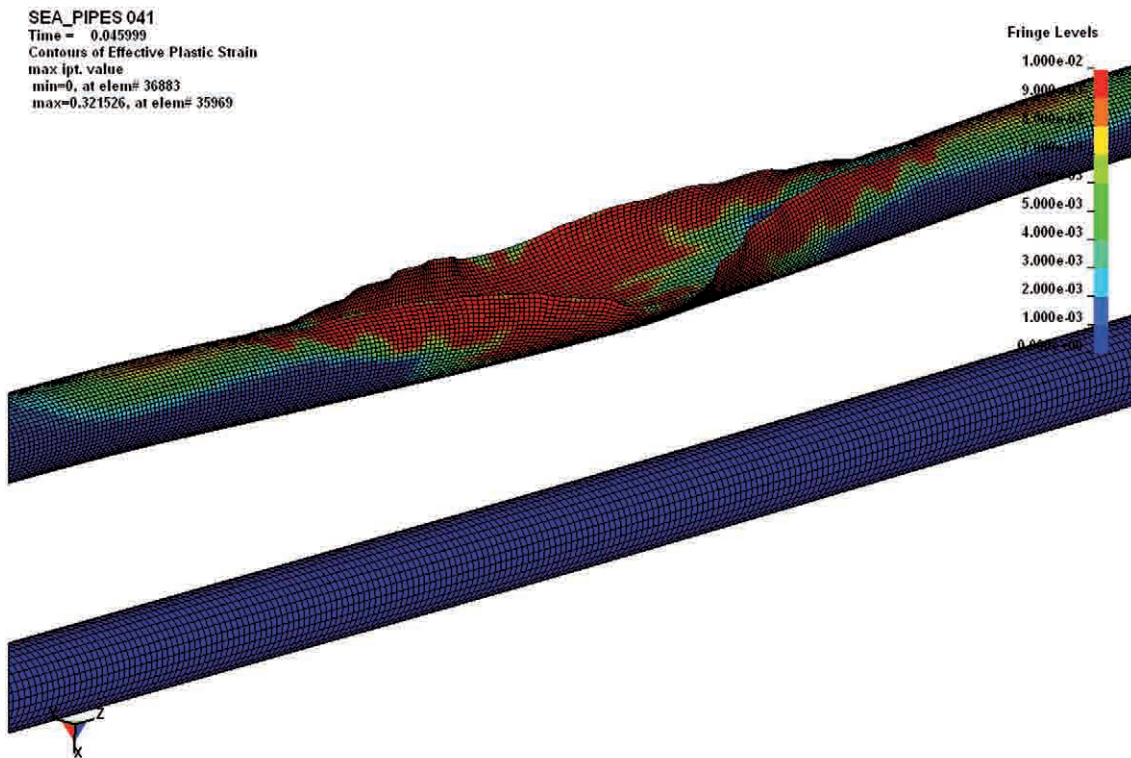
Разрушение трубы моделировалось двумя способами – мгновенного разрыва длиной 20 м, а также с учетом реальной скорости роста трещины 150 м/с при аналогичной длине разрушения. Раскрытие трещины рассчитывалось по модели упругопластической деформации металла трубы с учетом бетонной рубашки.

На рис. 2 в качестве примера представлены интенсивности напряжений (а) и пластические деформации (б) для трубопроводов на момент времени 0,05 с после начала аварии для разрыва с учетом конечной скорости развития трещины.

Как показывают расчеты, в начальные моменты начинает надуваться газовый пузырь (рис. 3), давление в котором уменьшается со временем. Форма и размеры пузыря существенно зависят от модели разрыва трубы. Начало координат расчетной сетки здесь и далее расположено на пересечении центра аварийной трубы и плоскости симметрии сетки. Расчеты проводились для различных вариантов расположения трещины – с обоих боков, сверху и снизу. При этом рассчитывалось воздействие на соседнюю трубу и проверялись возможности возникновения каскадной аварии.

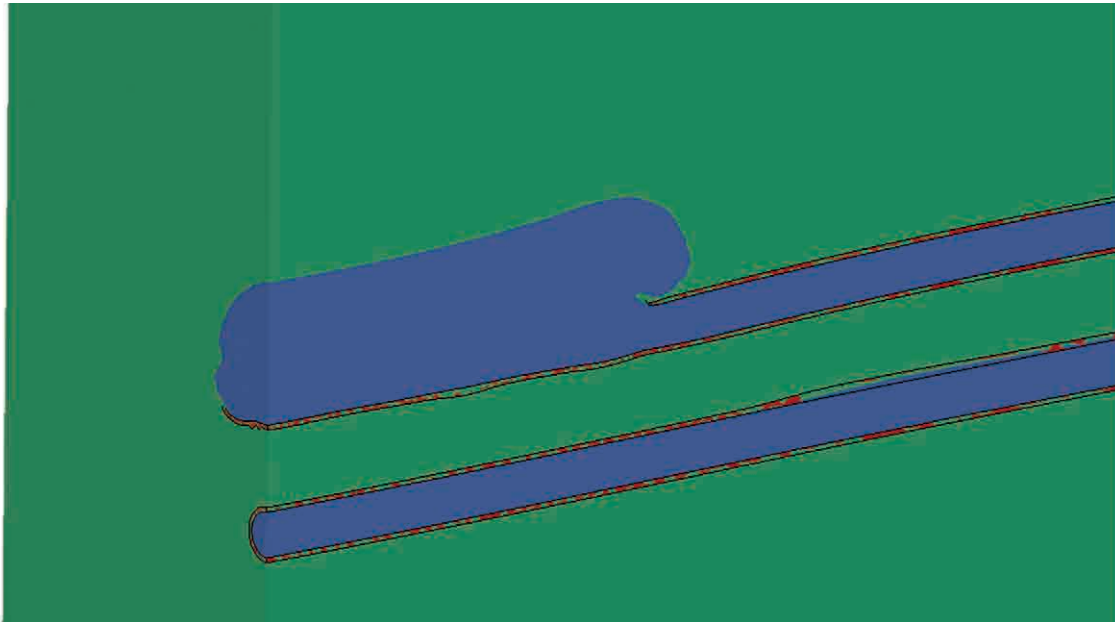


a

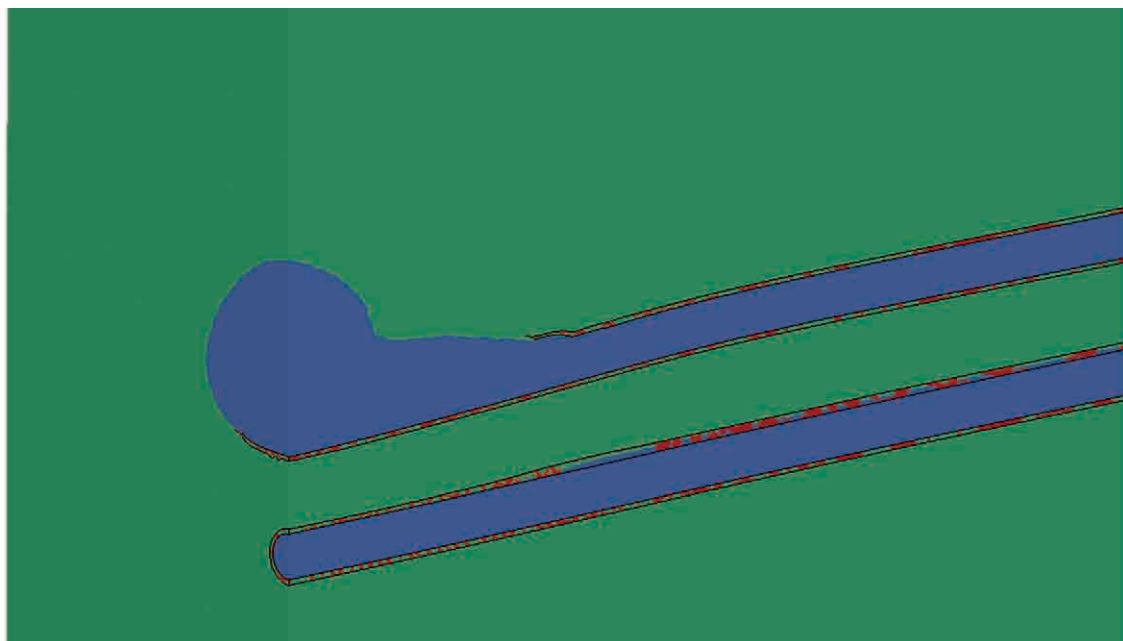


б

Рис. 2. Интенсивности напряжений (а) и пластические деформации (б) для трубопроводов на момент времени 0,05 с



а



б

Рис. 3. Поле течения газа из разрыва трубы при расчете по модели мгновенного разрыва участка 20 м (а) и модели роста трещины со средней скоростью 150 м/с на момент времени 0,02 с (б)

Общая физическая картина течения газа и поле давления в различные моменты времени показаны на рис. 4–6. Для примера приведен расчет по модели трещины, растущей вдоль боковой образующей от второй трубы со скоростью 150 м/с. Видно, что газовый пузырь быстро раздувается, и уже к моменту времени 0,07 с давление в нем падает практически до давления воды на глубине прокладки трубопровода.

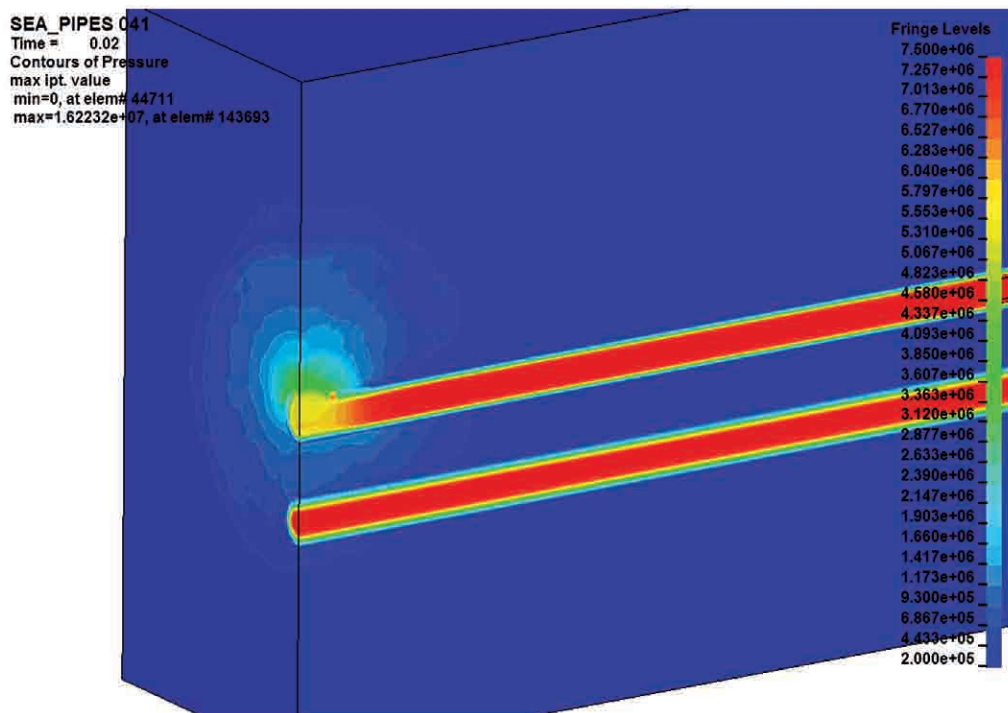


Рис. 4. Поле давлений для модели роста трещины на момент 0,02 с

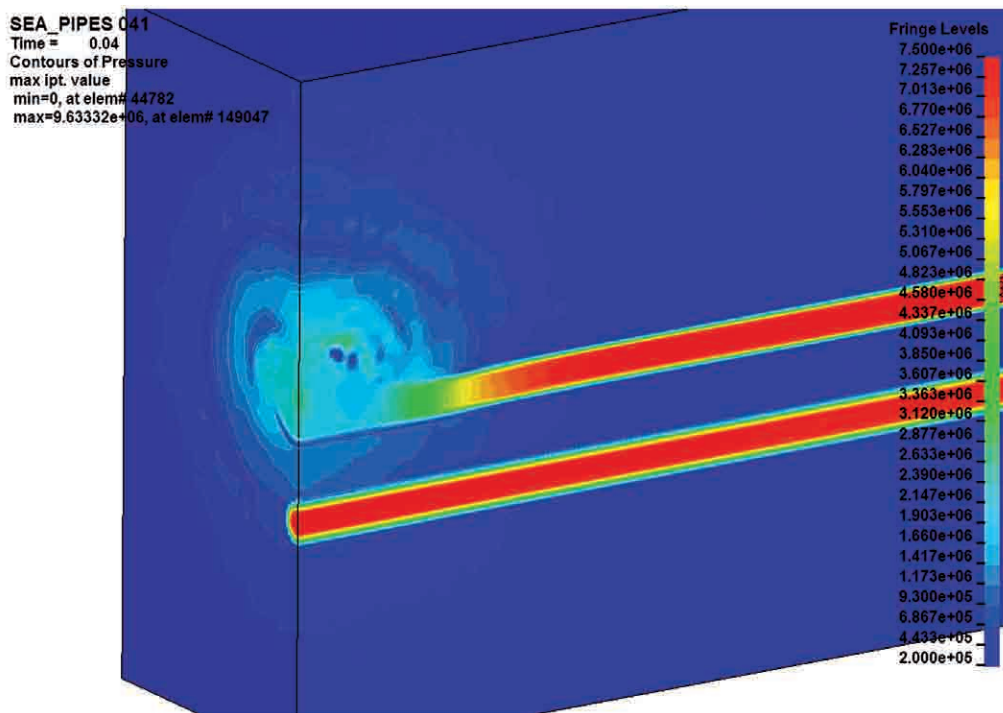


Рис. 5. Поле давлений для модели роста трещины на момент 0,03 с

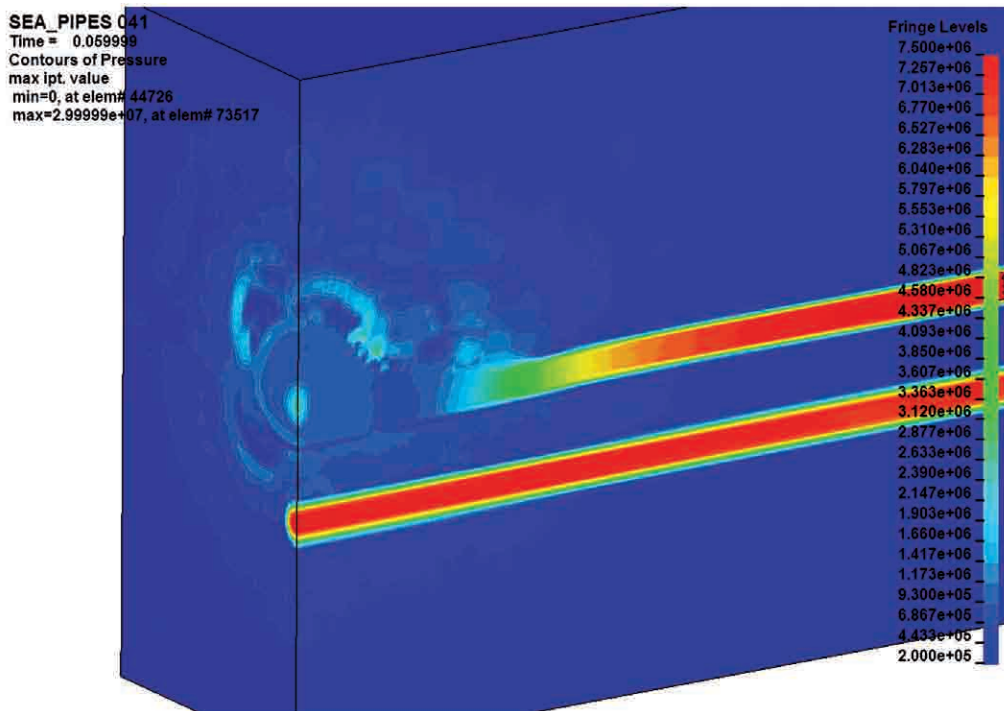


Рис 6. Поле давлений для модели роста трещины на момент 0,06 с

На рис. 6–9 приведены графики изменения давления в воде для точек пространства, расположенных в поперечном к трубопроводу сечении трубы в месте разрыва трубопровода во взаимно перпендикулярных направлениях вдоль осей x и y (расположение осей см. на рис. 1). Из графиков видно, что максимальное давление в волне сжатия, которая распространяется в воде после аварии, быстро падает с удалением от места разрыва.

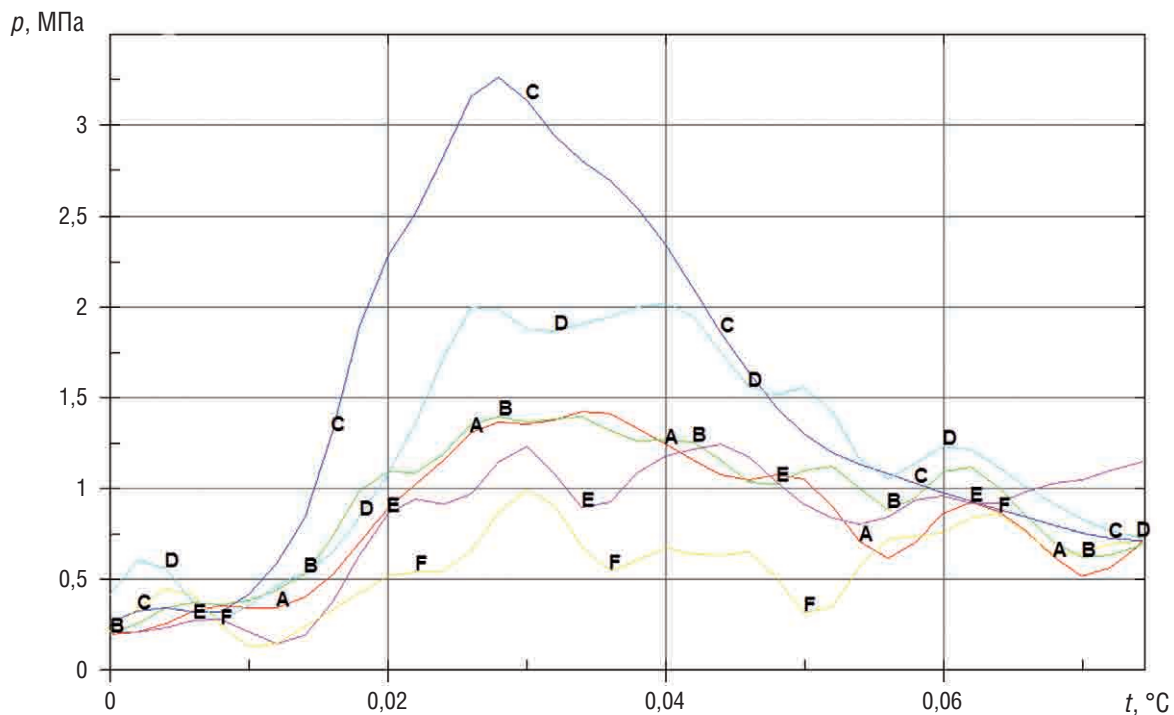


Рис. 6. Зависимость давления в воде для точек вдоль оси x в горизонтальной плоскости ($y = 0$) при моделировании роста трещины со скоростью 150 м/с: $A - x = 2,3$ м; $B - x = 1,3$ м; $C - x = -1,6$ м; $D - x = -2,8$ м; $E - x = -4,1$ м; $F - x = -5,5$ м

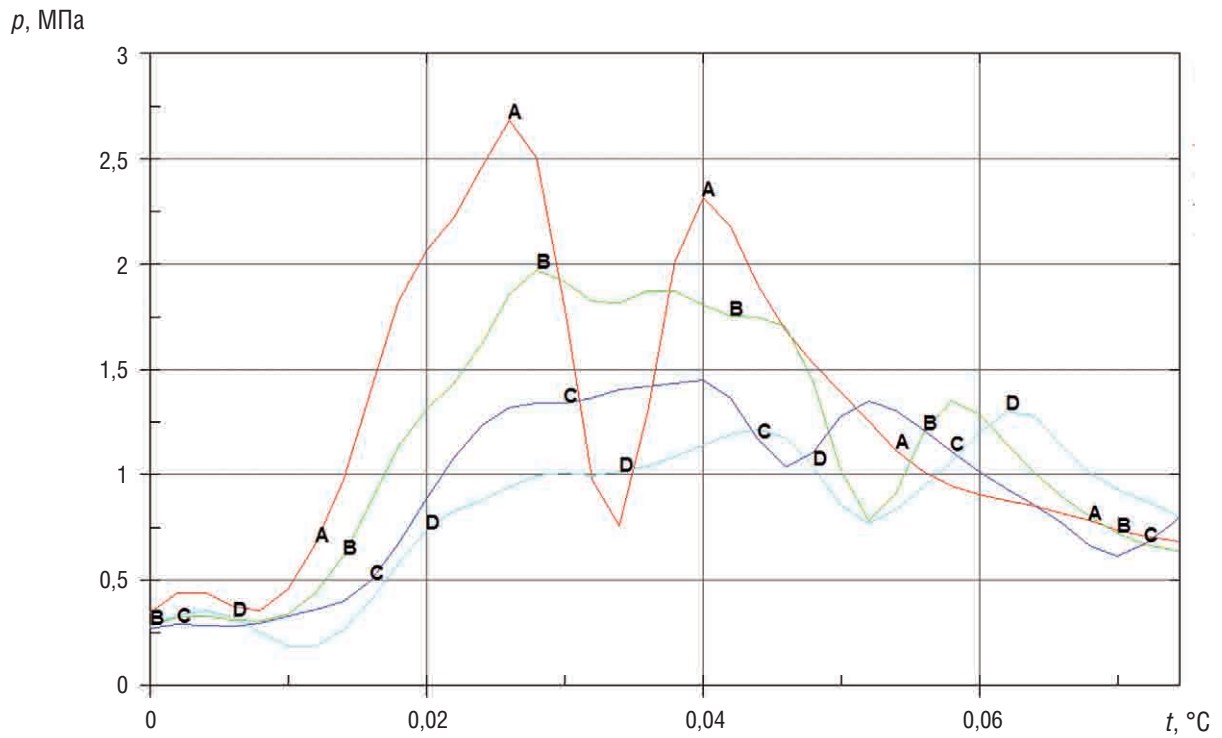


Рис. 7. Зависимость давления в воде для точек вдоль оси y в вертикальной плоскости ($x = 0$) при моделировании роста трещины со скоростью 150 м/с: А - $y = 0,9$ м; В - $y = 1,8$ м; С - $y = 2,6$ м; D - $y = 3,4$ м

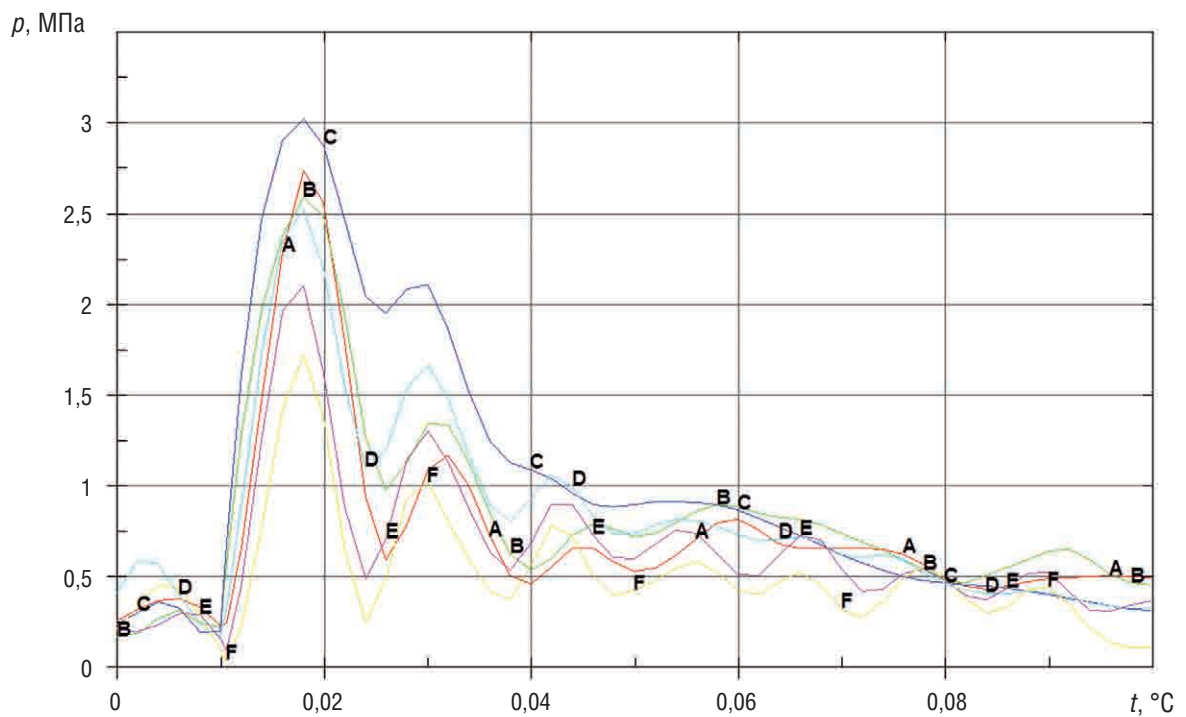


Рис. 8. Зависимость давления в воде для точек вдоль оси x в горизонтальной плоскости ($y = 0$) при мгновенном разрыве трубы: А - $x = 2,3$ м; В - $x = 1,3$ м; С - $x = -1,6$ м; D - $x = -2,8$ м; E - $x = -4,1$ м; F - $x = -5,5$ м

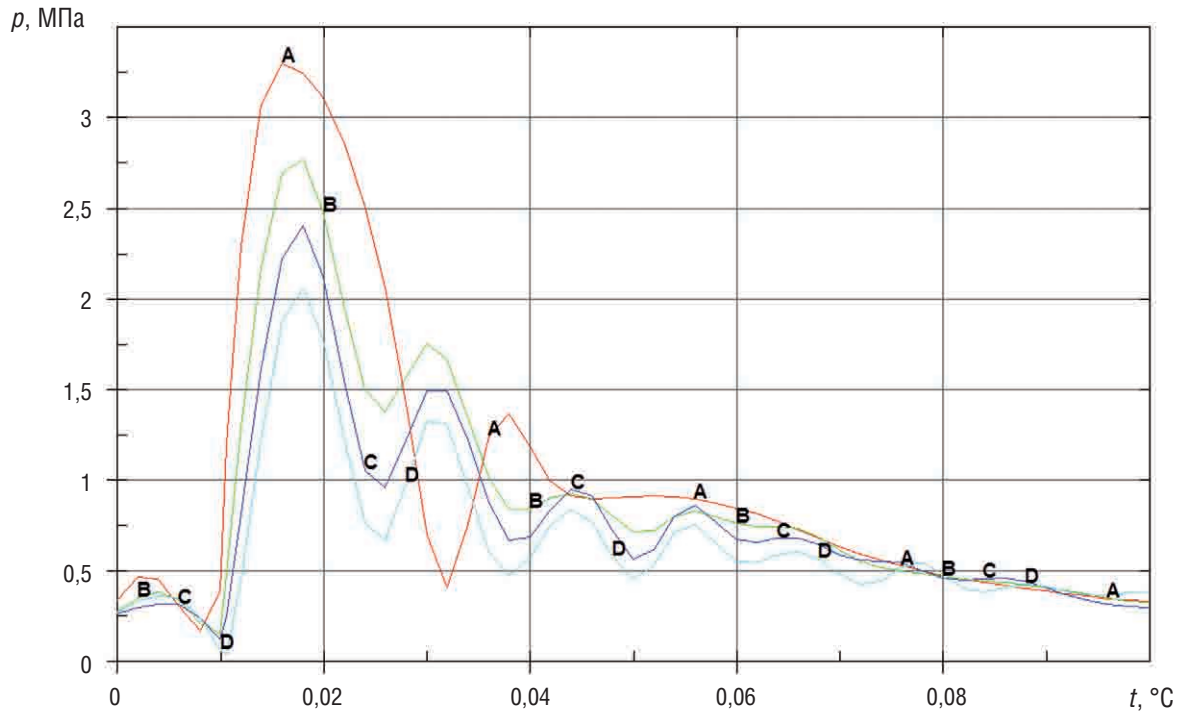


Рис. 9. Зависимость давления в воде для точек вдоль оси y в вертикальной плоскости ($x = 0$) при мгновенном разрыве трубы:
 $A - y = 0,9$ м; $B - y = 1,8$ м; $C - y = 2,6$ м; $D - y = 3,4$ м

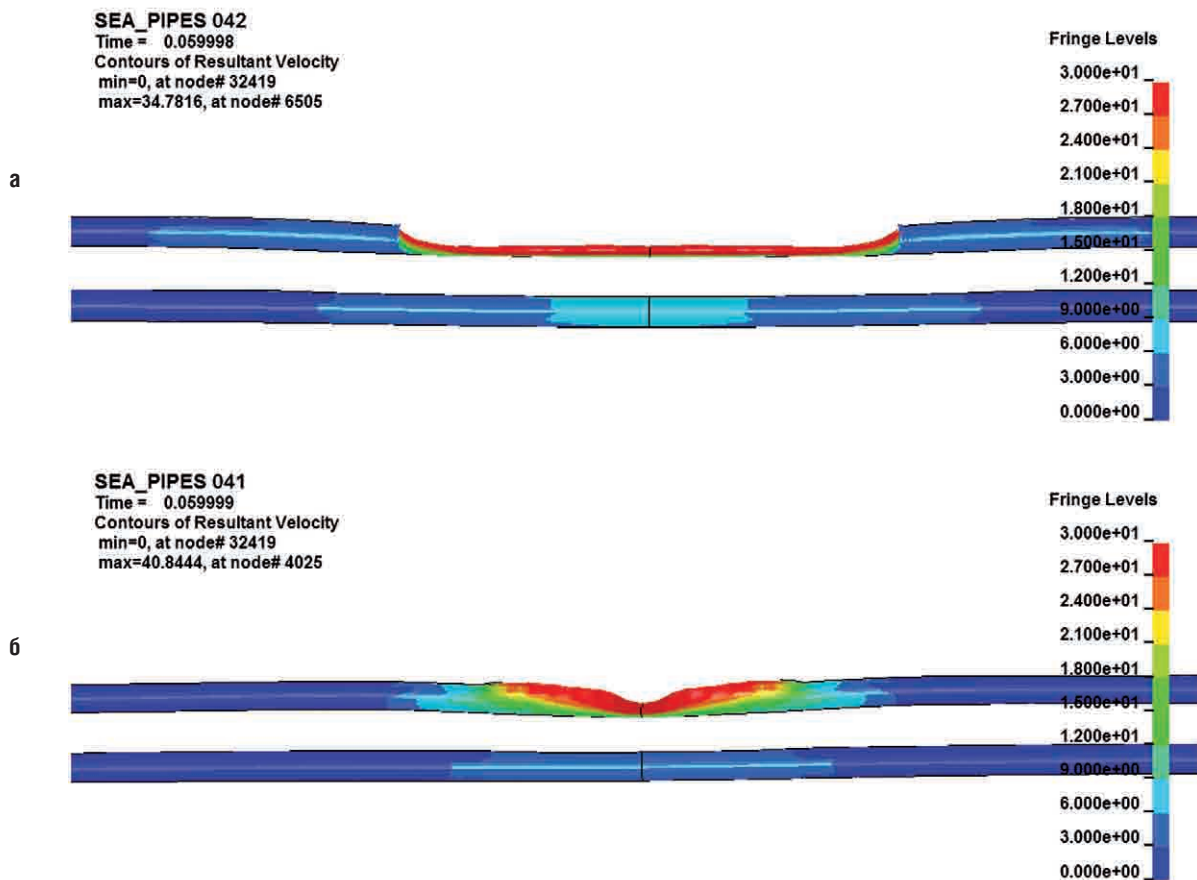


Рис. 10. Поле скоростей для трубопроводов на момент времени 0,06 с от начала разрыва для модели мгновенного (а) и плавного (б) разрывов

Производился расчет максимальной скорости движения трубы, разогнанной за счет газового пузыря, в направлении второй трубы. В качестве примера на рис. 10 представлено поле скоростей для трубопроводов на момент времени 0,06 с от начала разрыва для модели мгновенного (а) и плавного (б) бокового разрывов трубы аварийного газопровода.

Выводы

В результате численного моделирования распространения волны сжатия в водной среде определялись параметры движения газового пузыря и кинематические характеристики газопроводов до момента установления квазистационарного истечения газа из аварийного отверстия.

Установлено, что в результате волны сжатия, распространяющейся в воде от места разрыва газопровода и порожденной расширением газового пузыря, сечение соседней трубы, минимально удаленное от места разрыва, получает максимальную скорость (около 4 м/с) через 0,07 с. Максимальная скорость движения границы газового пузыря достигает 50 м/с и замедляется со временем. При этом сближения и соударения труб при движении под действием реактивной силы расширяющегося газового пузыря не происходит.

В зоне расположения соседней трубы максимальное давление достигает величины 3,5 МПа. Профиль давления носит плавно нарастающий неударный характер. Для областей, расположенных далее 5 м от места разрыва, для заданных начальных условий амплитуда волны сжатия не превышает 1 МПа. Максимальные напряжения и деформации соседней трубы в результате воздействия аварии не превышают уровней начала пластических изменений.