

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РАЗРЫВА ГАЗОПРОВОДА В МЕСТЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГОЙ

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

Моделирование аварийного разрыва газопровода в месте пересечения с автомобильной дорогой имело целью определить возможные сценарии развития аварийной ситуации и степень воздействия поражающих факторов аварии на объекты окружающей инфраструктуры. Путем численного моделирования при помощи пакета прикладных программ ANSYS/LS-DYNA проводилась оценка влияния защитного кожуха при аварии и параметры газовых струй на его торцах.

Начальные и граничные условия

Рассматривалась типовая автодорога, имеющая общую ширину вместе с обочиной 20 м. Реальные механические свойства дорожного покрытия не учитывались – грунт считался однородным и изотропным во всем грунтовом массиве, включая насыпь. Механические характеристики грунта соответствовали суглинку средней плотности. Рассматривался также вариант с поверхностным слоем мерзлого грунта толщиной до 1,5 м.

Магистральный трубопровод располагался на глубине 1 м от верхней образующей трубы до поверхности земли. Диаметр газовой трубы – 1420 мм, толщина стенки – 20 мм. В районе пересечения с автодорогой газопровод помещен в защитный кожух из трубы длиной 28 м, диаметром 1600 мм и толщиной стенки 20 мм. Материал обеих труб – сталь 17ГС. Давление в газопроводе – 7,5 МПа. Геометрия расчетной модели для пакета прикладных программ ANSYS/LS-DYNA представлена на рис. 1.

Установочные и распорные элементы между трубами не моделировались. Предполагалось, что в исходном состоянии трубы касаются друг друга по нижней образующей.

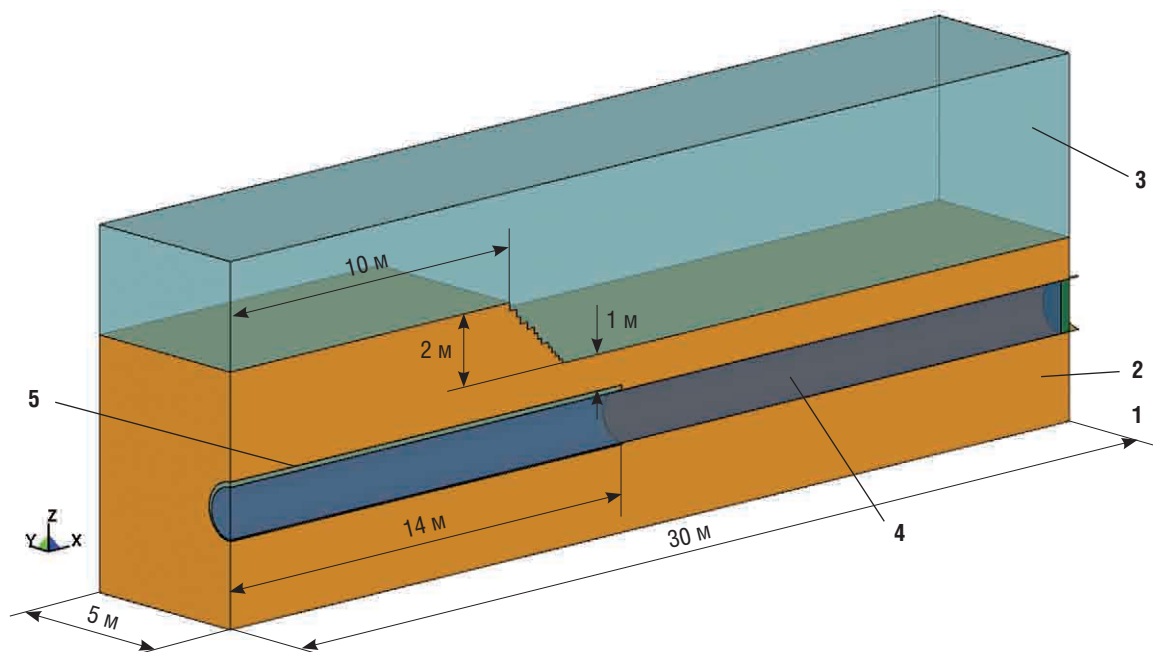


Рис. 1. Расчетная модель для пакета прикладных программ ANSYS/LS-DYNA:
1 – грунт; 2 – природный газ; 3 – воздух; 4 – газопровод; 5 – защитный кожух

Расчетная сетка задачи разбивалась в пространстве на две различные вычислительные области, связанные соответствующими граничными условиями – трубы моделировались в лагранжевых переменных, а области грунта, природного газа и воздуха – на неподвижной многокомпонентной эйлеровой сетке. На границе расчетной области на расстоянии 30 м от плоскости симметрии в трубе располагался источник газа постоянного давления для моделирования притока из удаленных частей трубопровода.

Развитие аварийной ситуации проходило по следующему сценарию: происходил мгновенный, симметричный относительно центра дороги разрыв газовой трубы на длине 20 м.

Результаты расчетов

Анализ результатов расчетов показал, что после разрыва трубы внутреннее давление раскрывает стенку трубы газопровода, которая приобретает определенную кинетическую энергию и ударяется о стенку кожуха. На стенку кожуха также начинает воздействовать давление истекающего из аварийного сечения газа, находящегося под действием большого избыточного давления в газопроводе.

Расчеты показали, что дальнейшего роста трещины не произошло. Иллюстрации общей картины развития процесса деформирования труб приведены на рис. 2 и 3.

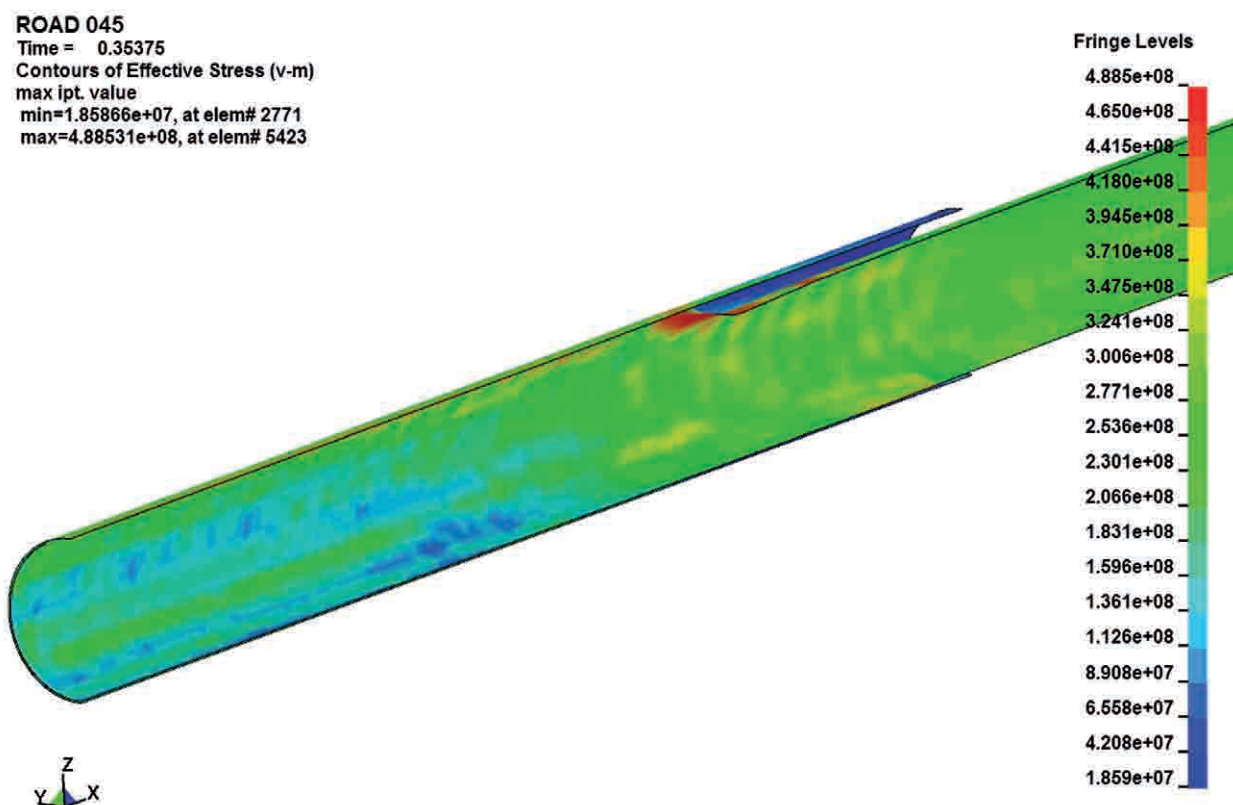


Рис. 2. Распределение максимальных напряжений в теле газовой трубы и защитного кожуха

Расчетами установлено, что при принятых параметрах газопровода и кожуха разрушение стенки кожуха не происходило. Таким образом, защитный кожух полностью предотвращает разрушение полотна дороги и отводит истекающий из аварийного сечения трубопровода газ в обе стороны от нее.

Иллюстрации векторного поля скоростей газа и динамики прорыва газового потока к поверхности приведены на рис. 4–8.

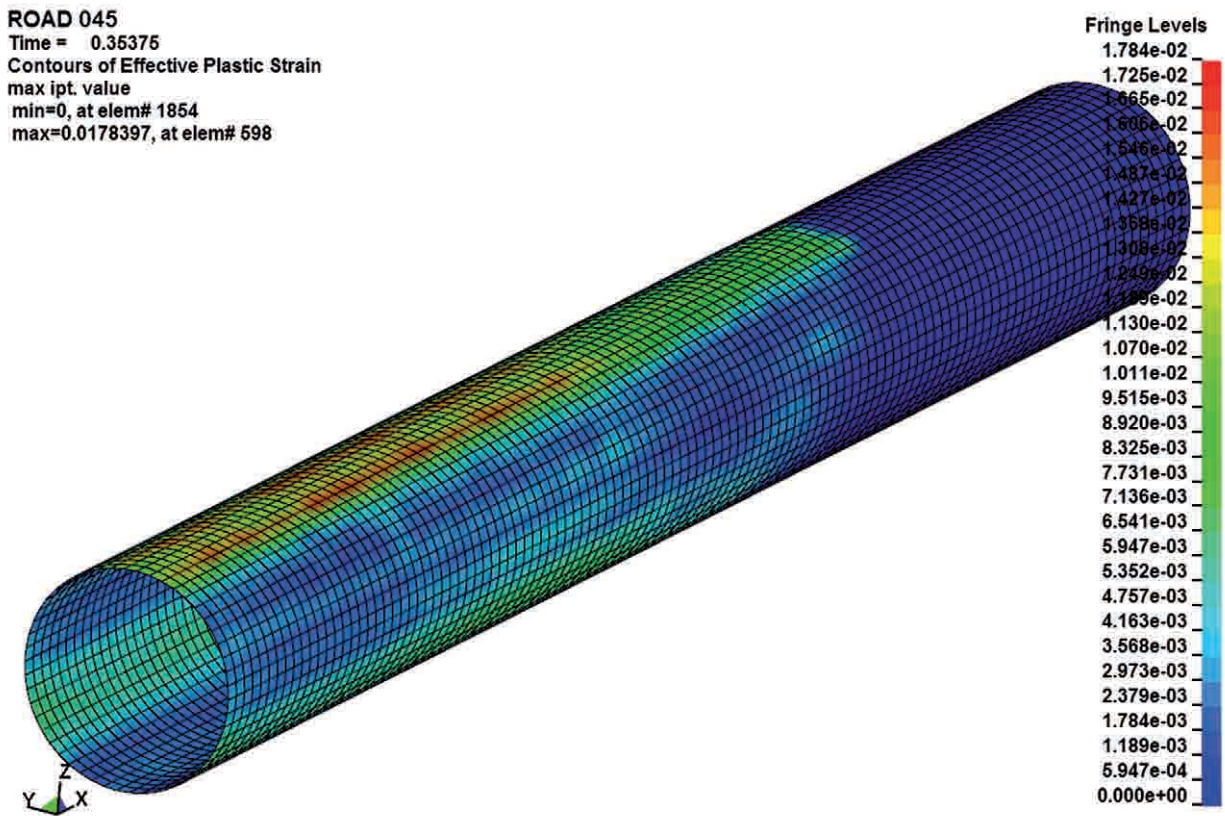


Рис. 3. Распределение максимальных упругопластических деформаций в теле защитного кожуха

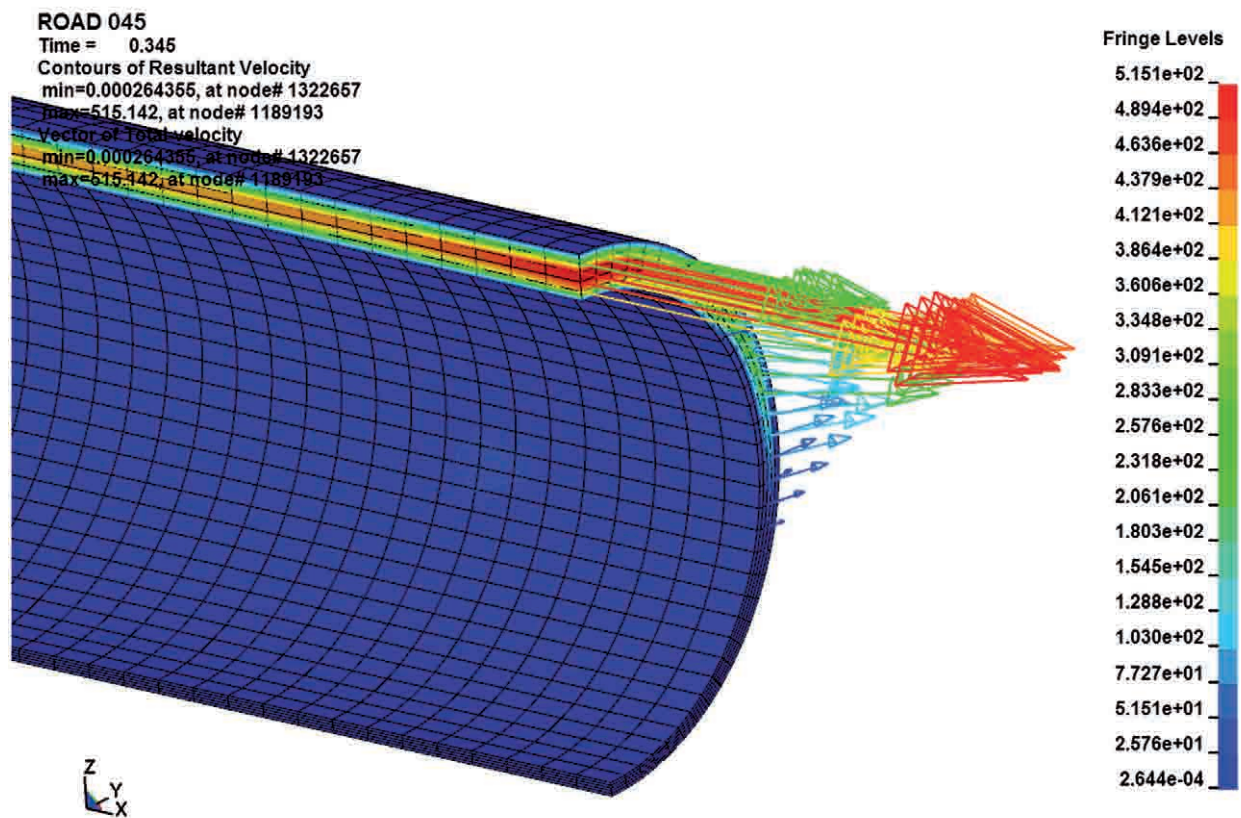


Рис. 4. Установившееся поле скоростей при истечении газа через зазор между трубой газопровода и защитным кожухом

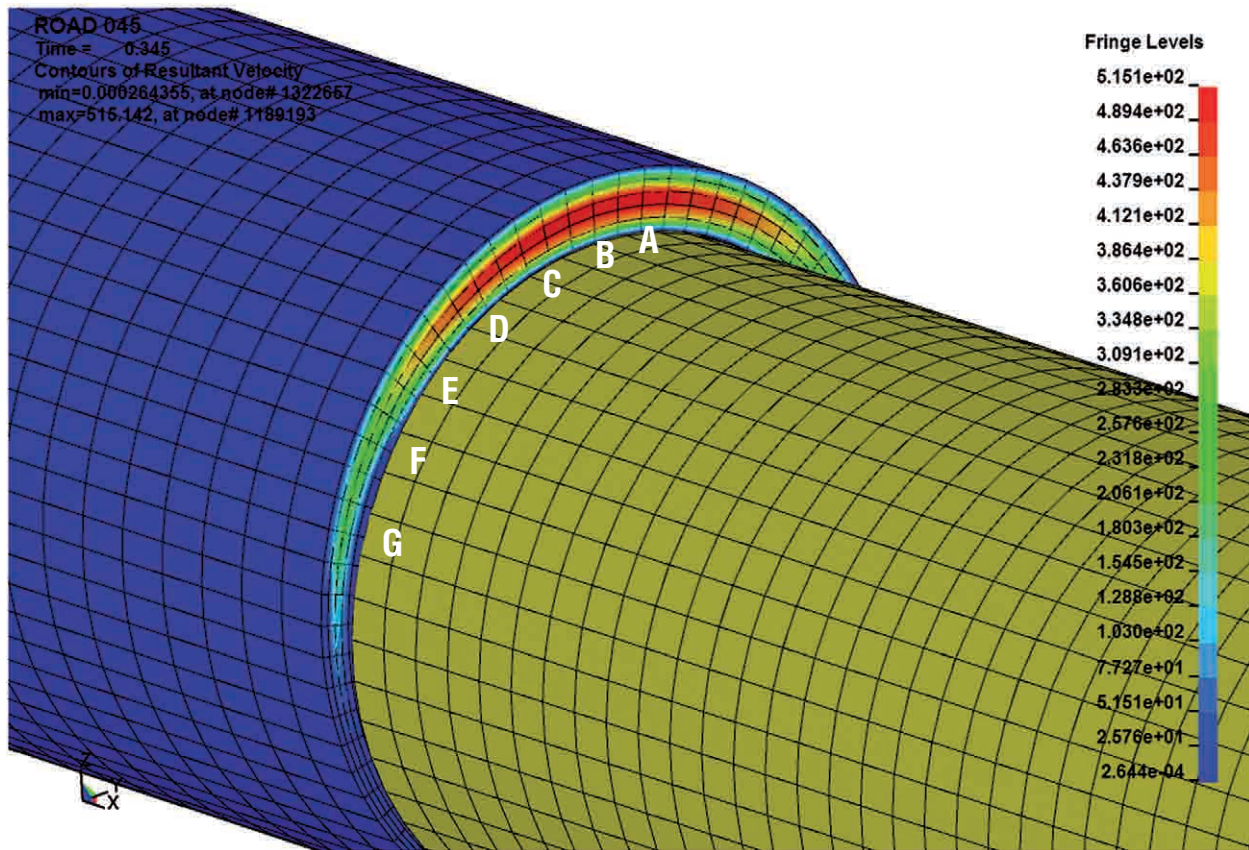


Рис. 5. Поле скоростей для течения газа в зазоре. Изменения параметров газового потока в точках А-Г представлены на рис. 6-8

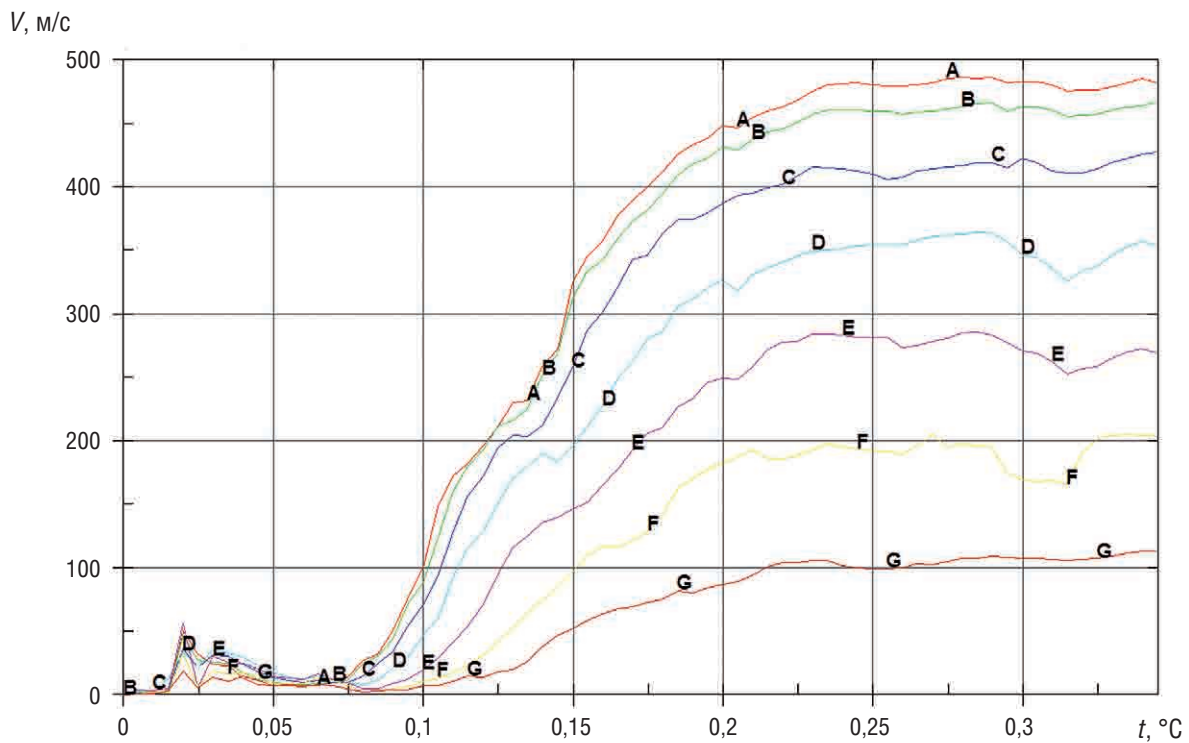


Рис. 6. Зависимости массовой скорости газа от времени для различных точек в критическом сечении (см. рис. 5)

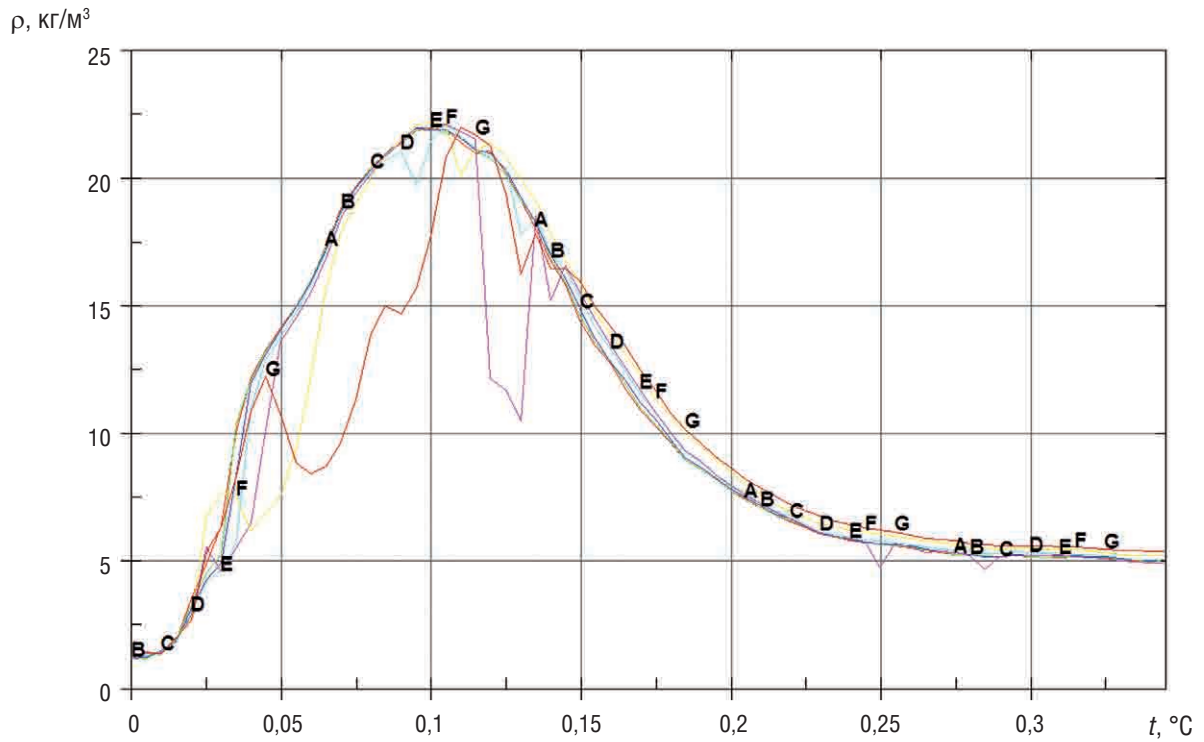


Рис. 7. Зависимости плотности газа от времени для различных точек в критическом сечении (см. рис. 5)

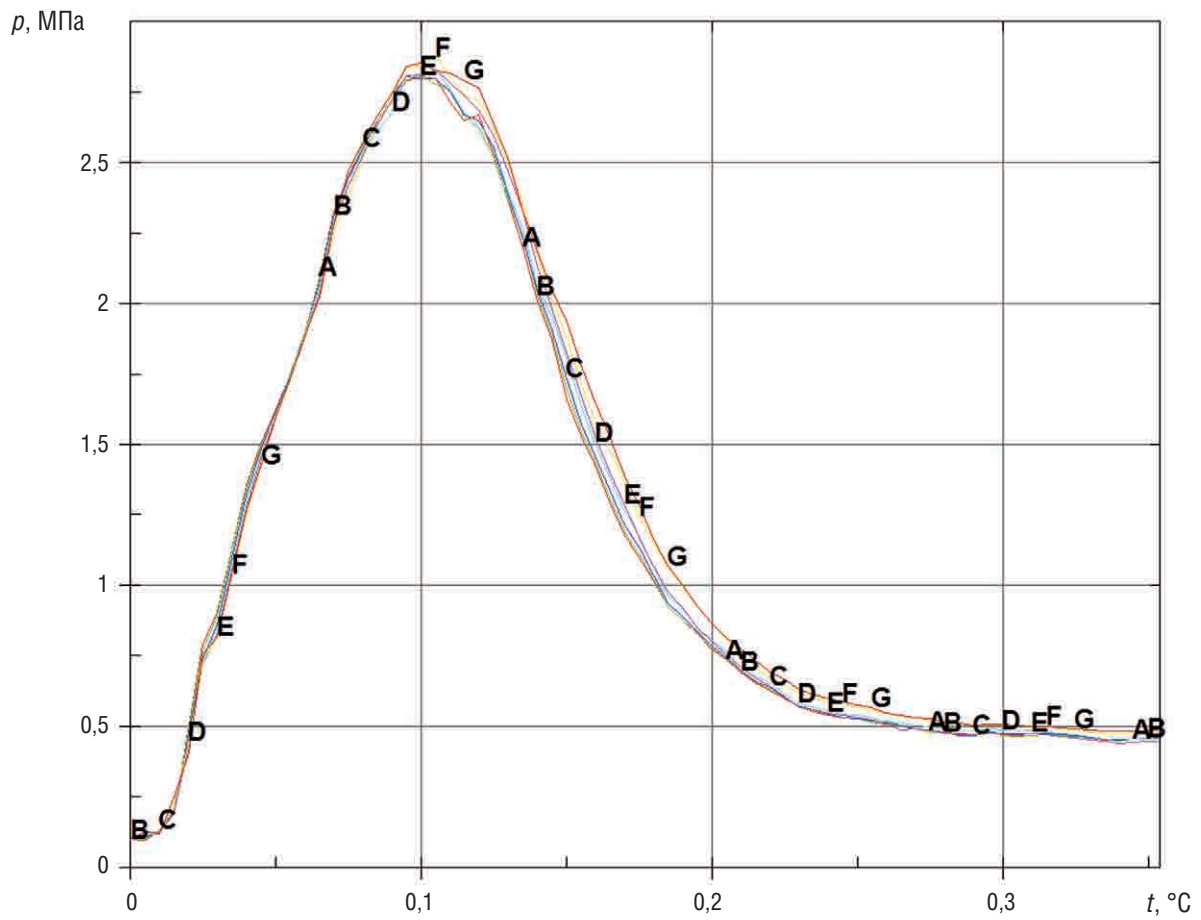


Рис. 8. Зависимости давления газа от времени для различных точек в критическом сечении (см. рис. 5)

Истекающий из аварийного отверстия газ прорывается через торцевые сечения кожуха к поверхности земли, образуя в грунте воронку с максимальным диаметром около 5 м. Через 0,3–0,35 с после разрыва трубы течение природного газа приобретает стационарный характер в виде сверхзвуковой струи, и дальнейшего деформирования труб и грунтового массива не происходит. Распределение скорости газового потока, динамика прорыва газа и развитие воронки в грунте представлены на рис. 9–12.

Установлено, что при истечении газа через торцевые сечения кожуха параметры воздушной волны сжатия, образующейся в начальные моменты поступления газа в атмосферу, оказываются существенно ниже по сравнению с параметрами аналогичной волны, образующейся при отсутствии кожуха.

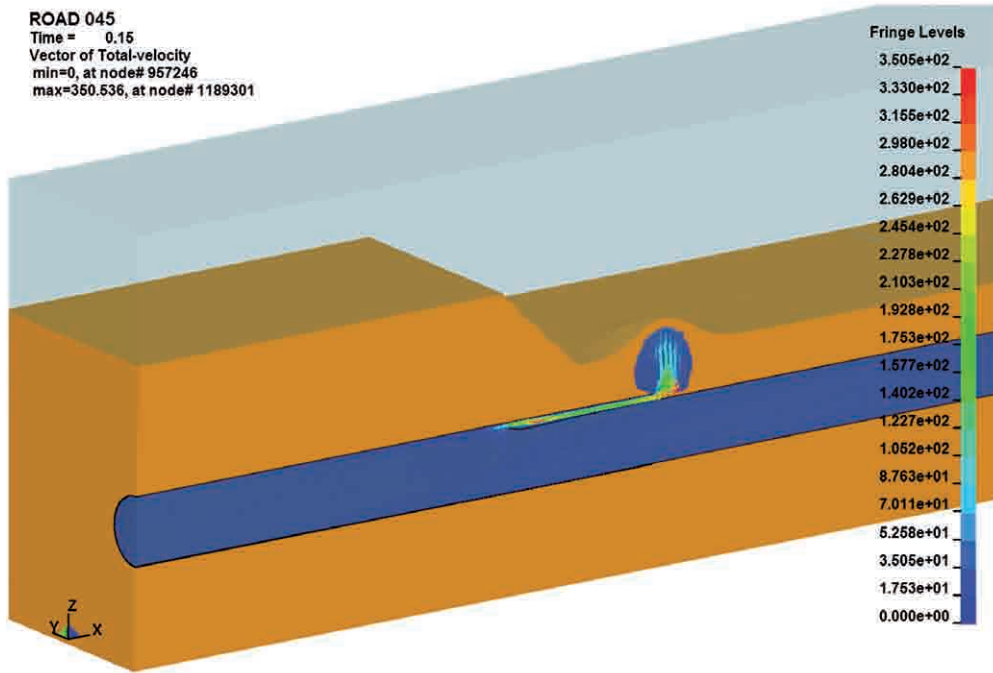


Рис. 9. Динамика прорыва газового потока для 0,15 с

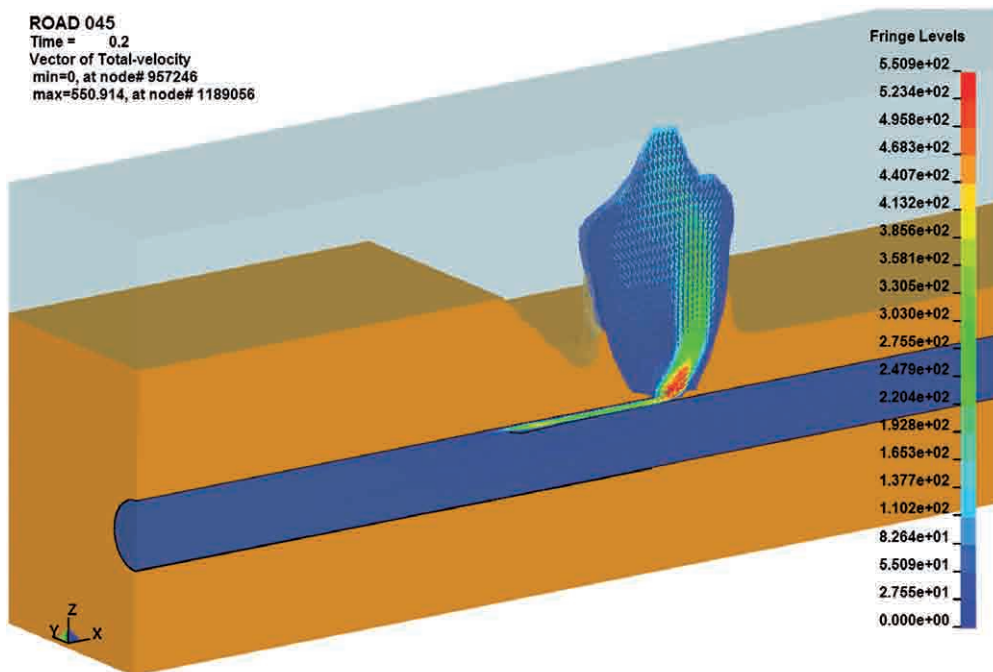


Рис. 10. Динамика прорыва газового потока для 0,2 с

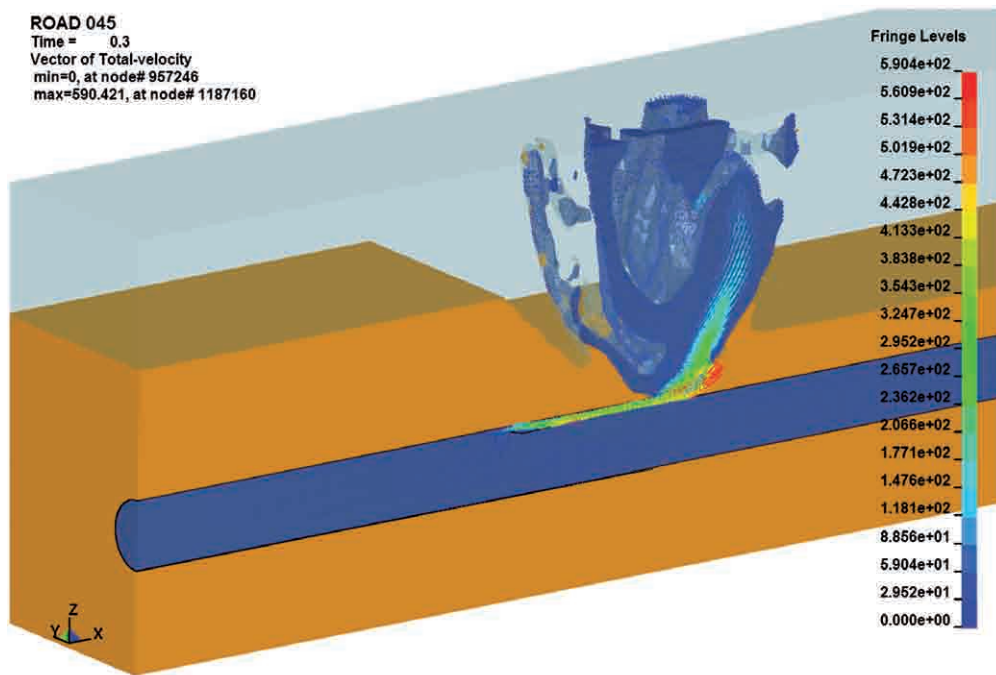


Рис. 11. Динамика прорыва газового потока для 0,3 с

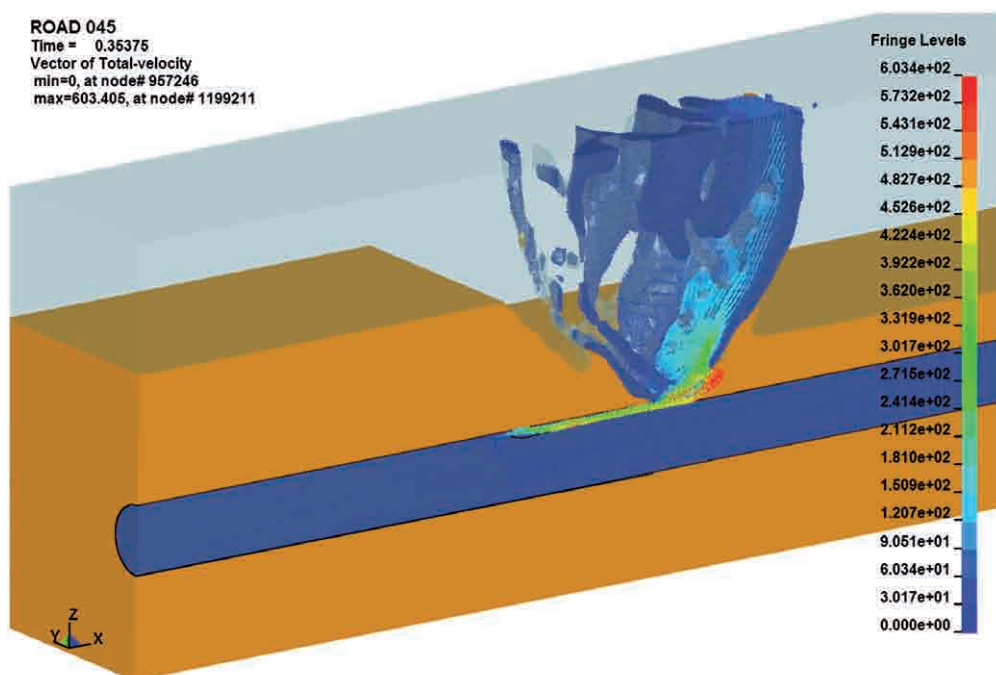


Рис. 12. Динамика прорыва газового потока для 0,35 с

Выводы

При моделировании аварийной ситуации в месте подземного перехода магистрального газопровода через автомобильную дорогу установлено:

- при наличии защитного кожуха разрушения полотна автомобильной дороги не происходит;
- прорыв газового потока не оказывает существенного компрессионного воздействия на близлежащие объекты транспортной инфраструктуры.