

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ДО МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ (МГ)

В.Г. Калиниченко

ФТИ НАН Беларуси до 10.04.2020 г.

В п. 4.3 раздела 4 «Опасные факторы» методики [1] представлены из [8] рис. 1 для вероятности гибели людей в зависимости от расстояний до центра разрыва за счет метательного действия воздушной ударной волны при разрушении МГ и рис. 2 для вероятности частичного разрушения кирпичных (легких каркасных) зданий при разрушении МГ в зависимости от расстояний до центра разрыва. Эти факторы представляют опасность на расстоянии от 12 м до 80 м.

А в п. 4.5 методики [1] приведены критические расстояния для ситуации горения газа («Пожар в котловане»), составляющие при номинальном давлении PN 5,4 МПа (55 атм) для МГ диаметрами: 1200 мм – 95 м, 1000 мм – 75 м, 700 мм – 55 м, 500 мм – 45 м. Данные взяты из графика фирмы «Бритиш Газ» (рис. 1 [5] ниже) и соответствуют границе зоны абсолютного поражения (вероятности гибели человека $\geq 0,99$) от теплового потока у поверхности земли 32 кВт/м² возникшего пожара на МГ при экспозиции в 30–40 с! Очевидно, что эти расстояния не могут быть ориентиром безопасной эксплуатации МГ.

Но при этом избирательно не приведен рис. 2 [5, 8] (см. ниже) для вероятности гибели людей от их местоположения за счет термического воздействия «Пожара в котловане» при аварии на МГ. А данный фактор является самым опасным и дальнедействующим из всех при аварии на МГ!

В нормативных документах [5, 6, 7] рассматривается и другой сценарий «Струевое пламя» термического поражения людей при авариях на газопроводах.

Вероятностные характеристики аварий по обоим сценариям приведены в табл. 1 [5, 6, 7].

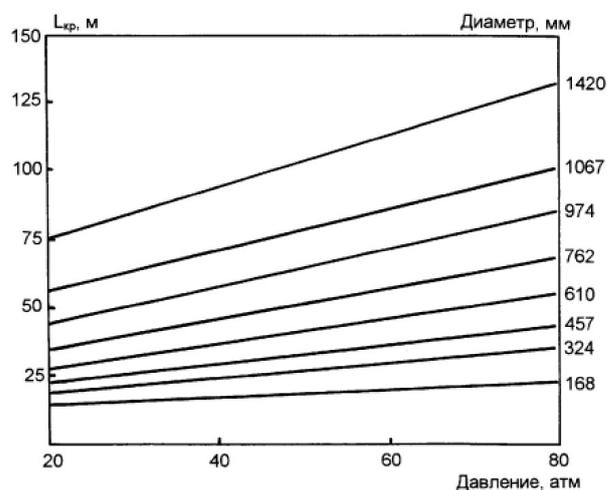


Рис. 1 [5]. Влияние технологических параметров газопроводов на размеры зон абсолютного термического поражения («Бритиш Газ»)

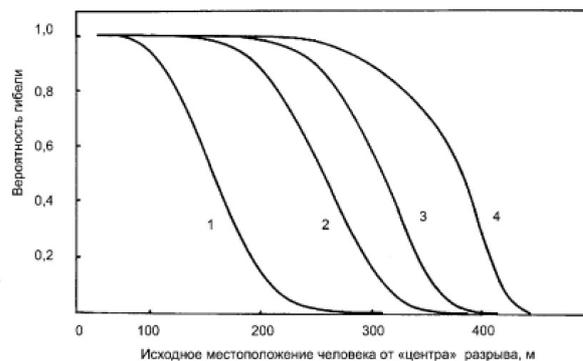


Рис. 2 [5, 8]. Вероятность гибели людей при разрывах газопроводов с возгоранием газа при покидании ими зоны опасности со скоростью $v = 2,5$ м/с, (1 - Dy700 мм, PN = 5,4 МПа; 2 - Dy1000 мм, PN = 5,4 МПа; 3 - Dy1200 мм, PN = 5,4 МПа; 4 - Dy1400 мм, PN = 7,5 МПа)

Табл. 1

Вероятностные характеристики аварий на МГ [5, 6, 7]

$D_y, \text{ м}$	Условная вероятность загорания газа	Условная вероятность незагорания газа	Условная вероятность «Пожар в котловане»	Условная вероятность «Струевые пламена»
1,2	0,74	0,26	0,3	0,7
1,0	0,6	0,4	0,4	0,6
0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
0,5	0,3	0,7	0,7	0,3

Были выполнены оценочные расчеты зон потенциального термического поражения человека при авариях на газопроводах по инженерной экспресс-методике [9, 10], учитывающей оба аварийных сценария. Рассчитываемые при этом характеристики аварии с пожаром на МГ показаны на рис. 3 [9, 10], а результаты расчетов приведены в табл. 2 и 3 (ниже).

Данная методика предполагает определение усредненного массового расхода газа из одного

конца аварийного газопровода G_{cp} , кг/с, зависящего только от давления газа в месте разрыва МГ до аварии P , атм и его внутреннего диаметра D , м. Для МГ диаметром D от 0,5 до 1,4 м, с учетом значительного «буферного» участка с газом в обе стороны, максимальное время теплового воздействия на реципиента составит до 4 минут без резкого снижения аварийного расхода газа [9, 10]. Ошибка расчетов по [9, 10] заявлена до $\pm 15\%$.

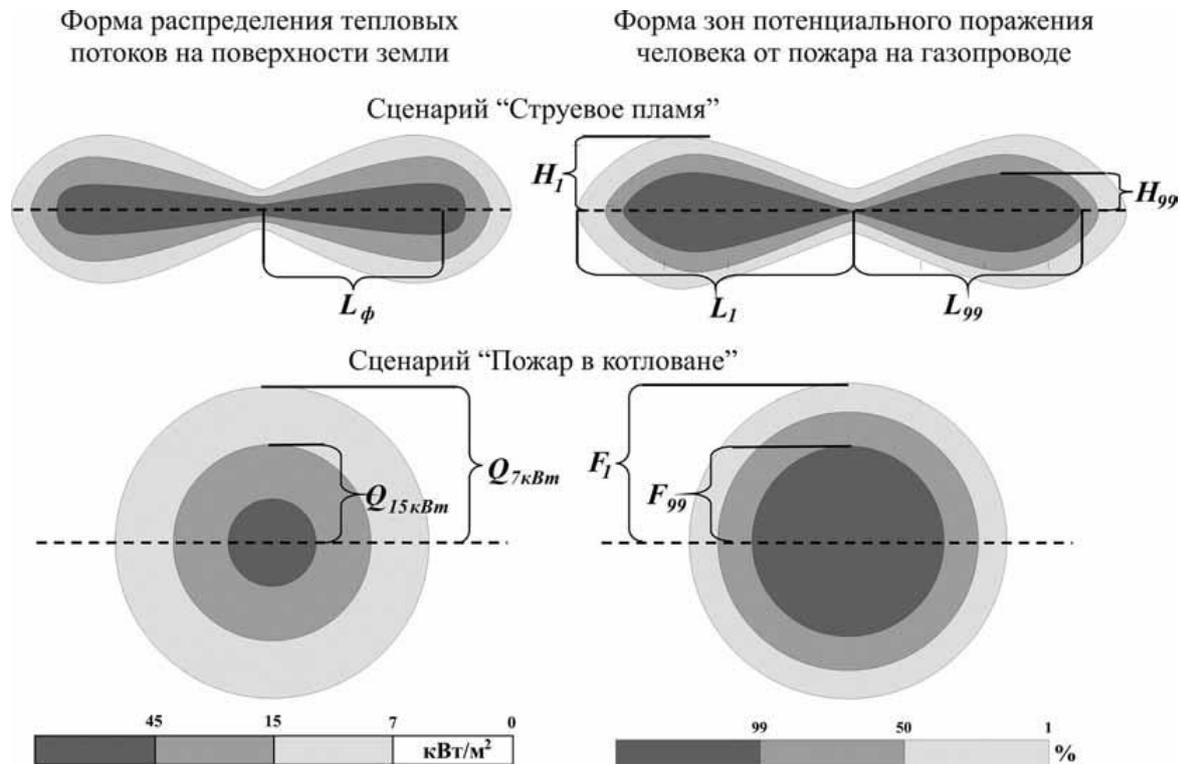


Рис. 3 [9, 10]. Рассчитываемые характеристики аварии с пожаром на МГ

Табл. 2

Результаты расчетов сценария «Пожар в котловане» по [9, 10]

D_y , м	P , атм	G_{cp} , кг/с	$P \times D^2$, атм \times м ²	$Q_{7кВт}$, м	$Q_{15кВт}$, м	F_{99} , м	F_1 , м
1,2	55	2105,6	79,2	294	179,5	190,5	346
1,0	55	1434,8	55,0	243,6	147,6	146,2	274
0,7	55	677,4	26,95	168,7	100,6	87,1	173,3
0,5	55	333,75	13,75	119,2	70,1	53,4	112,5

Обозначения:

$Q_{7кВт}$, $Q_{15кВт}$ – радиус круговой зоны с интенсивностью теплового потока соответственно ≥ 7 кВт/м² и ≥ 15 кВт/м²; F_{99} , F_1 – радиус зоны термического воздействия с вероятностью гибели человека, соответственно, $\geq 0,99$ и $\geq 0,01$, м.

Табл. 3

Результаты расчетов сценария «Струевое пламя» по [9, 10]

D_y , м	P , атм	G_{cp} , кг/с	$P \times D^2$, атм \times м ²	L_ϕ , м	L_{99} , м	H_{99} , м	L_1 , м	H_1 , м
1,2	55	2105,6	79,2	356	455	69,2	523,7	138,5
1,0	55	1434,8	55,0	302	377	52	435,6	109,6
0,7	55	677,4	26,95	218,7	261	29,9	303,8	69,3
0,5	55	333,75	13,75	161,3	184,5	17,7	216,3	45

Обозначения:

G_{cp} – усредненный массовый расход газа из одного конца аварийного газопровода, кг/с; $P \times D^2$ – технологический параметр аварийного газопровода; L_ϕ – длина факела, м; L_{99} , L_1 – полудлина зоны термического воздействия с вероятностью гибели человека соответственно $\geq 0,99$ и $\geq 0,01$, м; H_{99} , H_1 – полуширина зоны термического воздействия с вероятностью гибели человека, соответственно, $\geq 0,99$ и $\geq 0,01$, м.

Документами [2, 3] в примечании 4 к табл. 4 предусмотрены мероприятия, позволяющие сокращать минимальные безопасные расстояния до МГ. Сокращение минимальных расстояний на 30 % и на 50 % достигается применением вместо труб категории III, соответственно, труб категории II и категории В. Согласно [2, 3] и СНиП III–42–80*, после монтажа до начала эксплуатации сварные стыки участков МГ категорий В и I, II, III подвергаются радиографическому контролю, соответственно, в объеме 100 %, 25 %, 10 %.

В [11] на примере МГ DN1200, PN5,4 МПа были рассмотрены основные конструктивные отличия труб для него категорий В ($m = 0,6$), I–II ($m = 0,75$) и III ($m = 0,9$) из стали класса прочности K55. В скобках приведены соответствующие каждой категории значения коэффициента условий работы m . Для участков МГ категорий В, I–II, III имеем, соответственно, значения: расчетной толщины стенки d – 15 мм, 12 мм, 10 мм; коэффициента запаса прочности k – 2,58; 2,06; 1,72; отношения кольцевых напряжений к пределу текучести стали σ/σ_T^H – 0,58; 0,73; 0,88. При этом $k_B/k_{I-II} = 1,25$; $k_B/k_{III} = 1,5$. Там же приводилась и

обеспечиваемая категориями В, I–II, III частота отказов q , соответственно: до 10^{-8} год⁻¹ (невероятное событие), до 10^{-5} год⁻¹ (неправдоподобное событие), до 10^{-3} год⁻¹ (маловероятное событие).

Здесь можно отметить еще, что в США, Канаде, Австралии, мерами обеспечения безопасности МГ также предусматривается ограничение уровня расчетных кольцевых напряжений величиной $0,72 \pm 0,4$ (в Великобритании $0,72 \pm 0,3$) от нормативного предела текучести металла трубы, увеличение толщины ее стенки [11].

Методика [1] разрабатывалась по хозяйственному № 2015/191 от 27.11.2015 г. с заказчиком ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» с целью предложить альтернативный метод решения данной задачи, исключая замену на участке труб категории III на трубы категории II или В. В качестве корректирующих мероприятий на участке с трубами категории III для сокращения минимальных расстояний по разделу 6 методики [1] предлагается проведение только радиографического контроля 100 % кольцевых сварных стыков в сочетании с увеличенным объемом других методов неразрушающего контроля по сравнению с объемом кон-

троля, обычно выполняемого для возможности продления дальнейшего срока эксплуатации МГ.

Для сравнения результаты по минимальным безопасным расстояниям, полученные по методике [1], по СНиП 2.05.06–85 табл. 4.п. 1, по результатам точного расчета рис. 2 [5, 8] и из табл. 2 и 3 по методике [9, 10] сведены в общую табл. 4.

Рассматривая табл. 4 видно значительное отличие значений минимальных расстояний в первых 4-х строках таблицы от остальных строк таблицы. Стоит разобраться почему так получается.

Сразу возникает вопрос к автору методики [1], как им получено выражение для L_{\min} раздела 5, указанное в первых двух строках табл. 4? И именно с коэффициентом 15, а не больше и не меньше? Далее в этом выражении присутствует расчетный коэффициент f . В СНиП 2.05.06–85* [2] и СП 36.13330.2012 [3] такого названия коэффициента не существует. По значениям 0,72 и 0,6 этого коэффициента, а также значительному его влиянию на безопасность МГ и, соответственно, на минимальные расстояния – это знакомый по [2] и [3] коэффициент условий работы m для труб МГ. Данное название коэффициента характери-

зует его суть. Для МГ категорий I-II: $m = 0,75$, а категории В: $m = 0,6$. Тогда зачем он обозначен и назван иначе?

Этой «махинацией» обосновывается то, что при 100 % радиографическом контроле кольцевых сварных стыков с применением дополнительных методов неразрушающего контроля участок МГ III категории, возле которого «имеется 5 или менее зданий, где могут находиться люди» (класс местности 1) следует считать участком категории II, а если «имеется более 5 и менее 15 зданий, где могут находиться люди» (класс местности 2), то считать его участком категории В?! При этом уже нет необходимости на участке МГ делать переукладку на трубы с увеличенной толщиной стенки, о чем говорилось выше.

В строках 3 и 4 таблицы 4 выше указаны из таблицы 2 [1] минимальные расстояния до «отдельно стоящих жилых зданий одноэтажных и двухэтажных; садовых домиков, дач; гаражей и открытых стоянок для автомобилей индивидуальных владельцев...» для классов местности 1 (количество 5 и менее) и 2 (количество более 5 и менее 15). Результаты следуют из аналогичной махинации!

Табл. 4

№ п/п	Источник для сравнения	Минимальное расстояние от оси МГ, м			
		$D_y 500$	$D_y 700$	$D_y 1000$	$D_y 1200$
1	по [1] $L_{\min} = 15 \cdot \frac{DN}{1000} \cdot p_{\text{доп}} \cdot \frac{1}{f}$ $f = 0,72$ класс местности 1	90(-40%)	90(-55%)	112,5(-55%)	135(-55%)
2	по [1] $L_{\min} = 15 \cdot \frac{DN}{1000} \cdot p_{\text{доп}} \cdot \frac{1}{f}$ $f = 0,6$ класс местности 2	100(-33%)	100(-50%)	135(-46%)	162(-46%)
3	Табл. 2 Методики [1], класс местности 1	90(-40%)	100(-50%)	125(-50%)	150(-50%)
4	Табл. 2 Методики [1], класс местности 2	100(-33%)	125(-37,5%)	150(-40%)	175(-41,7%)
5	СНиП 2.05.06-85 Табл. 4, п. 1	150	200	250	300
6	«Пожар в котловане» по рис. 2 [5, 8] при $v = 2,5$ м/с и до (20÷10)% гибели людей	–	190÷210	295÷310	345÷360
7	«Пожар в котловане» по [9, 10] для $Q_{7\text{кВт}}$ номинальные значения ÷ с учетом ошибки расчета до +15%:	119 ÷ 137	168,7 ÷ 194	243,6 ÷ 280	294 ÷ 338
8	«Пожар в котловане» по [9, 10] для $F_{99} \geq 0,99$ номинальные значения ÷ с учетом ошибки расчета до +15%:	53,4 ÷ 61,4	87 ÷ 100,2	146 ÷ 168	190,5 ÷ 219

Примечание 1.

В скобках строк 1÷4 таблицы 4 у значений минимальных расстояний указан % их уменьшения относительно значений строки 5.

Более того, в примечании 4 к таблице 2 [1] оговорено: «при соответствующем обосновании и выполнении корректирующих мероприятий по разделу 7 допускается сокращать указанные в таблице 2 расстояния еще не более чем на 30 %». В разделе 7 [1] утверждается, что установка защитного стального полукольца-экрана на МГ существенно (по расчетам на 20–30 %?) уменьшает негативные последствия при возможном техногенном отказе (раскрытии) трубы газопровода. Но возникновение пожара при разрыве газопровода такой экран не может предотвратить! Запас прочности МГ он тоже не повышает, что следует из принципа ремонта МГ установкой стальных сварных муфт с обеспечением натяга!

При минимальных расстояниях указанных в строках 1÷4 таблицы 4 из рис. 2 [5, 8] (см. выше) следует, что вероятность гибели людей для класса местности 1 от термического воздействия пожара на МГ DN1200, DN1000 может составить до 100 %, для DN700 – до 95 %, а вероятность гибели людей для класса местности 2 – для МГ DN1200 – до 100 %, для МГ DN1000 – до 95 %, для МГ DN700 – до 85 %, что не допустимо! Это же подтверждают и результаты расчетов согласно [9, 10], приведенные в строке 8 таблицы 4!

Минимальные безопасные расстояния по результатам расчетов согласно [9, 10] для сценария «Пожар в котловане» могут быть заданы из интервала значений, соответствующих интенсивности теплового потока от 7 кВт/м², но не более 10,5 кВт/м².

Согласно ГОСТ Р 12.3.047–2012:

– при интенсивности теплового излучения 7 кВт/м² вертикального факела на человека без защиты специальной термостойкой одеждой он

испытывает непереносимую боль через 20÷30 с; ожог 1-й степени – через 15÷20 с; ожог 2-й степени – через 30÷40 с.

– при интенсивности теплового излучения 10,5 кВт/м² вертикального факела на человека без защиты специальной термостойкой одеждой он испытывает непереносимую боль через 3÷5 с; ожог 1-й степени – через 6÷8 с; ожог 2-й степени – через 12÷16 с.

В таблице 3 выше приведены результаты расчетов по методике [9, 10] для сценария «Струевое пламя» при котором зона термического воздействия характеризуется полудлиной L_{99} , L_1 и полушириной H_{99} , H_1 с вероятностью гибели человека, соответственно, $\geq 0,99$ и $\geq 0,01$, м.

На основании данных таблицы № 5.4 [12], для сценария «Струевое пламя» следует проводить расчеты с учетом отклонения осей двух струй газа от проектного положения оси МГ в горизонтальной плоскости на угол до $\pm 15^\circ$ для всех возможных вариантов: струи в разные стороны от оси МГ, струи в одну сторону от оси МГ. Проведение расчетов на термическое воздействие в этом случае необходимо как на рассматриваемом участке, так и на его границах.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ двух методов для сценария «Пожар в котловане» показывает невозможность уменьшения минимальных безопасных расстояний указанных для МГ в [2, 3] без полного выполнения требований примечания 4 к таблице 4 данных документов.

2. При назначении минимальных безопасных расстояний до МГ $D_y 1200$, $D_y 1000$ и $D_y 700$ является обязательным учет и возможного сценария «Струевое пламя» при возникновении аварии на МГ.

ИСТОЧНИКИ

1. Методика «Определение корректирующих мероприятий с целью уменьшения зон минимальных расстояний отдельных участков магистральных газопроводов, протяженностью не более 1500 метров». Минск - 2016. -12 с.
2. СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы. (С изменением № 1 от 8.01.1987 г., изменением № 2 от 03.07.1990 г. и требованиями к трубопроводам для транспортирования СУГ, действующими на территории Республики Беларусь с датой введения 2005-05-01). - 52 с.
3. СП 36.13330.2012 Свод правил. Магистральные трубопроводы (актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*). М. – 2013. -78 с.
4. В.С. Сафонов, П.Э. Одишария, А.А. Швыряев Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. М., 1996. -208 с.
5. Методические указания по проведению анализа риска при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». Ответственные исполнители: В.С. Сафонов (д.т.н.), Г.Э. Одишария (д.т.н., проф.), А.А. Швыряев (к.х.н.) Методика согласована Госгортехнадзором России 09.12.2002 г. -385 с. (На их основе вышел документ СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». Т. 1, 2 под грифом «Коммерческая тайна». Введен в действие распоряжением ОАО «Газпром» от 12.11.2003 г. № 269).

6. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». (Вариант СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003 в свободном доступе). -387 с.
7. СТО Газпром 2-2.3-400-2009 Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». -332 с.
8. Опыт применения методологии анализа риска объектов газовой промышленности. В.С. Сафонов, С.В. Овчаров (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), А.А. Швыряев (МГУ им. М.В. Ломоносова). Доклад на тематическом семинаре ДПБ-2008, 21-22.10.2008. М., НТЦ «Промышленная безопасность». -12 с.
9. Экспресс-методика оценки размеров зон потенциального поражения людей при авариях на газопроводах. В.С. Сафонов, А.В. Мельников, А.И. Чупин, Е.Н. Желтиков, Т.В. Митрофанова «Безопасность труда в промышленности» № 5, 2009, с. 66-69.
10. Инженерная методика оценки размеров зон негативного воздействия на людей и потенциального риска их гибели при авариях на магистральных газопроводах. А.В. Завгороднев (к.т.н.), А.В. Мельников (к.т.н.), В.С. Сафонов (д.т.н., проф.) «Безопасность жизнедеятельности», № 5, 2012, с. 45-48.
11. Об установлении минимальных безопасных расстояний до магистральных газопроводов. В.Г. Калиниченко ФТИ НАН Беларуси «Инженер-механик» № 2 (71) 2016, с. 26-30.
12. Руководство по безопасности. Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа. Утв. Приказом Ростехнадзора от 26.12.2018 № 647. -141 с.