

УДК 621.644.07

Н.И. Улько, генеральный директор, ОАО «Газпром газораспределение Киров»; **А.М. Короленок**, д.т.н., профессор, декан факультета «Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта», заведующий кафедрой «Нефтепродуктообеспечение и газоснабжение», ФГБОУ ВПО «РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина»; **А.С. Миклуш**, заместитель начальника отдела защиты от коррозии, ЗАО «Газпром СтройТЭК Салават»

Представление расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке в виде аналитических зависимостей

В настоящей работе рассматриваются вопросы промышленной безопасности магистральных газопроводов, а также применение средств вычислительной техники для реализации функционально-аналитических зависимостей для определения минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке. Описываемые подходы позволяют обеспечить нормирование минимальных расстояний с учетом промышленной безопасности магистральных газопроводов, что является предметом пристального внимания специалистов топливно-энергетического комплекса США и ряда ведущих европейских стран, с привлечением методологии риска, позволяющей не только учесть вероятностную природу аварий и дать качественное определение опасности, но и наметить эффективные методы и средства понижения риска до приемлемого уровня. Определенные исследования в этом направлении ведутся и в России. Однако в настоящее время отсутствует единая научно-методическая база исследований в указанной области знаний, что затрудняет ее эффективное использование на объектах топливной энергетики, в частности на одном из важнейших ее технологических звеньев – магистральных газопроводах.

Ключевые слова: магистральный газопровод, эксплуатационный риск, окружающая среда, нормирование минимальных расстояний, отказ, вероятностные методы, статистические методы, значимость объекта, рабочее давление, диаметр газопровода.

Выбор трассы магистральных газопроводов должен производиться на основе вариантной оценки экономической целесообразности и экологической допустимости из нескольких возможных вариантов. При выборе трассы газопровода необходимо учитывать перспективное развитие городов и других населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железных и автомобильных дорог и других объектов, а также проектируемого газопровода на ближайшие 25 лет. Кроме того, надо учитывать условия строительства и обслуживания газо-

провода в период его эксплуатации (существующие, строящиеся, проектируемые и реконструируемые здания и сооружения, мелиорация заболоченных земель, ирригация пустынных и степных районов, использование водных объектов и т.д.), выполнять прогнозирование изменений природных условий в процессе строительства и эксплуатации магистральных газопроводов [1, 2]. Особенности норм проектирования газопроводов являются постоянным предметом исследований многих специалистов [3–5]. Тем не менее современное состояние и тенденции в области проекти-

рования, сооружения и эксплуатации магистральных газопроводов обуславливают постоянное совершенствование и изменение системы взглядов на многие нормативные требования, действующие в сфере трубопроводного транспорта природного газа, в частности на входящие в нормы проектирования требования к минимальным расстояниям от газопроводов до других объектов и строений. Вопросы пересмотра минимальных расстояний до объектов определенных типов в сторону увеличения этих расстояний возникают обычно в связи с авариями, сопровождающимися

Таблица. Величина минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке

Объекты, здания и сооружения O_1					
$DN \leq 0,3$	$0,3 < DN \leq 0,6$	$0,6 < DN \leq 0,8$	$0,8 < DN \leq 1,0$	$1,0 < DN \leq 1,2$	$1,2 < DN \leq 1,4$
$L_{min,I} \geq 100$ м	$L_{min,I} \geq 150$ м	$L_{min,I} \geq 200$ м	$L_{min,I} \geq 250$ м	$L_{min,I} \geq 300$ м	$L_{min,I} \geq 350$ м
$DN \leq 0,3$	$DN > 0,3$				
$L_{min,II} \geq 75$ м	$L_{min,II} \geq 125$ м				
Объекты, здания и сооружения O_2					
$DN \leq 0,3$	$0,3 < DN \leq 0,6$	$0,6 < DN \leq 0,8$	$0,8 < DN \leq 1,0$	$1,0 < DN \leq 1,2$	$1,2 < DN \leq 1,4$
$L_{min,I} \geq 75$ м	$L_{min,I} \geq 125$ м	$L_{min,I} \geq 150$ м	$L_{min,I} \geq 200$ м	$L_{min,I} \geq 225$ м	$L_{min,I} \geq 250$ м
$DN \leq 0,3$	$DN > 0,3$				
$L_{min,II} \geq 75$ м	$L_{min,II} \geq 100$ м				
Объекты, здания и сооружения O_3					
$DN \leq 0,3$	$0,3 < DN \leq 0,6$	$0,6 < DN \leq 0,8$	$0,8 < DN \leq 1,0$	$1,0 < DN \leq 1,2$	$1,2 < DN \leq 1,4$
$L_{min,I} \geq 30$ м	$L_{min,I} \geq 50$ м	$L_{min,I} \geq 100$ м	$L_{min,I} \geq 150$ м	$L_{min,I} \geq 175$ м	$L_{min,I} \geq 200$ м
$DN \leq 0,3$	$DN > 0,3$				
$L_{min,II} \geq 30$ м	$L_{min,II} \geq 50$ м				

ся тяжелыми последствиями. Обратная тенденция, к уменьшению безопасных расстояний, возникает в связи с возрастающей важностью вопроса учета стоимости земель, занимаемых под газопроводы. В условиях рынка эта стоимость столь велика, что в некоторых странах в нормах проектирования почти не регламентируются требования к минимальным расстояниям от газопроводов до других объектов и строений. Указанные обстоятельства побуждают к разработке научно обоснованного методического подхода к анализу и уточнению минимальных расстояний на основе оценки технологического риска, возникающего при эксплуатации газопроводов.

Заложенный в нормативно-технических документах [6–8] принцип регламентации минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке можно формализовать, что необходимо для дальнейшего совершенствования подходов к нормированию одного из важнейших показателей. Для этого введем следующие обозначения: L_{min} м – расстояния от оси подземных газопроводов до населенных пунктов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений должны приниматься в зависимости от класса ($L_{min,I}$ – 1-й класс и $L_{min,II}$ – 2-й класс) и номинального диаметра (DN) газопроводов, степени ответственности объектов и необходи-

мости обеспечения их безопасности; p_w , МПа – рабочее давление; DN, м – номинальный диаметр газопровода; $N_{n=1,2,3}$ – значимость объекта, индекс $n = 1, 2, 3$ относится к соответствующему перечню объектов, зданий и сооружений $O_n = O_1, O_2, O_3$. Критерий значимости объекта будет отражать прежде всего количество людей, живущих в близлежащем населенном пункте, а также, очевидно, народнохозяйственную значимость пересекаемого или прилежащего к газопроводу объекта, экологические и другие последствия его повреждения. Объекты, здания и сооружения O_1 : $O_{1,1}$ – города и другие населенные пункты; $O_{1,2}$ – коллективные сады с садовыми домиками, дачные поселки; $O_{1,3}$ – отдельные промышленные и сельскохозяйственные предприятия; $O_{1,4}$ – тепличные комбинаты и хозяйства; птицефабрики; $O_{1,5}$ – молокозаводы; $O_{1,6}$ – карьеры разработки полезных ископаемых; гаражи и открытые стоянки для автомобилей индивидуальных владельцев на количество автомобилей свыше 20 штук; $O_{1,7}$ – отдельно стоящие здания с массовым скоплением людей (школы, больницы, клубы, детские сады и ясли, вокзалы и т.д.); $O_{1,8}$ – жилые здания 3-этажные и выше; $O_{1,9}$ – железнодорожные станции; аэропорты; $O_{1,10}$ – морские и речные порты и пристани; $O_{1,11}$ – гидроэлектростанции; гидротехнические сооружения морского и речного транспорта 1–4-го классов; $O_{1,12}$ – очистные сооружения

и насосные станции водопроводные, не относящиеся к магистральному трубопроводу, мосты железных дорог общей сети и автомобильных дорог I и II категорий с пролетом свыше 20 м (при прокладке нефтепроводов и нефтепродуктопроводов ниже мостов по течению); $O_{1,13}$ – склады легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и газов с объемом хранения свыше 1000 м³; $O_{1,14}$ – автозаправочные станции; $O_{1,15}$ – мачты (башни) и сооружения многоканальной радиорелейной линии технологической связи трубопроводов, мачты (башни) и сооружения многоканальной радиорелейной линии связи; $O_{1,16}$ – телевизионные башни.

Объекты, здания и сооружения O_2 : $O_{2,1}$ – железные дороги общей сети (на перегонах) и автодороги I–III категорий, параллельно которым прокладывается трубопровод; $O_{2,2}$ – отдельно стоящие: жилые здания 1–2-этажные: садовые домики, дачи; $O_{2,3}$ – дома линейных обходчиков; $O_{2,4}$ – кладбища; $O_{2,5}$ – сельскохозяйственные фермы и огороженные участки для организованного выпаса скота; полевые станы; $O_{2,6}$ – мосты железных дорог промышленных предприятий, автомобильных дорог III, IV, III-п, IV-п категорий с пролетом свыше 20 м (при прокладке нефтепроводов и нефтепродуктопроводов ниже мостов по течению); $O_{2,7}$ – территории НПС, КС, установок комплексной подготовки нефти и газа, СПХГ, групповых и сбор-

ных пунктов промыслов, промысловых газораспределительных станций (ПГРС), установок очистки и осушки газа.

Объекты, здания и сооружения O_3 : $O_{3.1}$ – отдельно стоящие нежилые и подсобные строения; $O_{3.2}$ – устья бурящихся и эксплуатируемых газовых и артезианских скважин; $O_{3.3}$ – гаражи и открытые стоянки для автомобилей индивидуальных владельцев на 20 автомобилей и менее; $O_{3.4}$ – канализационные сооружения; $O_{3.5}$ – железные дороги промышленных предприятий; $O_{3.6}$ – автомобильные дороги IV, V, III-п и IV-п категорий, параллельно которым прокладывается трубопровод; $O_{3.7}$ – вертодромы и посадочные площадки без базирования на них вертолетов.

Исходные данные по величинам минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке, приведенные в нормативно-технических документах [6–8], сведены в таблице.

Теперь можно смоделировать таблицу, используя условие

$$L_{\min} = L_0 \cdot A^x \cdot B^y \cdot C^z, \quad (1)$$

$$A = N_n/N_0; B = p_w/p_0; C = DN/DN_0, \quad (2)$$

где L_0 , N_n , N_0 , p_w , p_0 , D_0 – некоторые базисные значения введенных величин; x , y , z – неизвестные параметры.

Таким образом, с учетом описательно заданных условий ответственности объектов задается значение функции $L_{\min.I}$ – 1-й класс или $L_{\min.II}$ – 2-й класс от трех аргументов p_w , DN , N_n в конечном числе точек.

Для численной реализации условия (1)–(2) зададим каждой позиции соответствующую взаимосвязь показателей N_n и N_0 . Будем считать, что: $A = N_1/N_0 = 1,0$; $A = N_2/N_0 = 0,1$; $A = N_3/N_0 = 0,01$, т.е. чем больше величина отношения N_n/N_0 , тем выше народнохозяйственная значимость пересекаемого или прилегающего к газопроводу объекта. Кроме того, установим следующие базисные значения введенных факторов: $D_0 = 1,0$ м и $p_0 = 10$ МПа. При этом L_0 считаем неизвестным параметром.

Уравнение (1) можно представить в виде

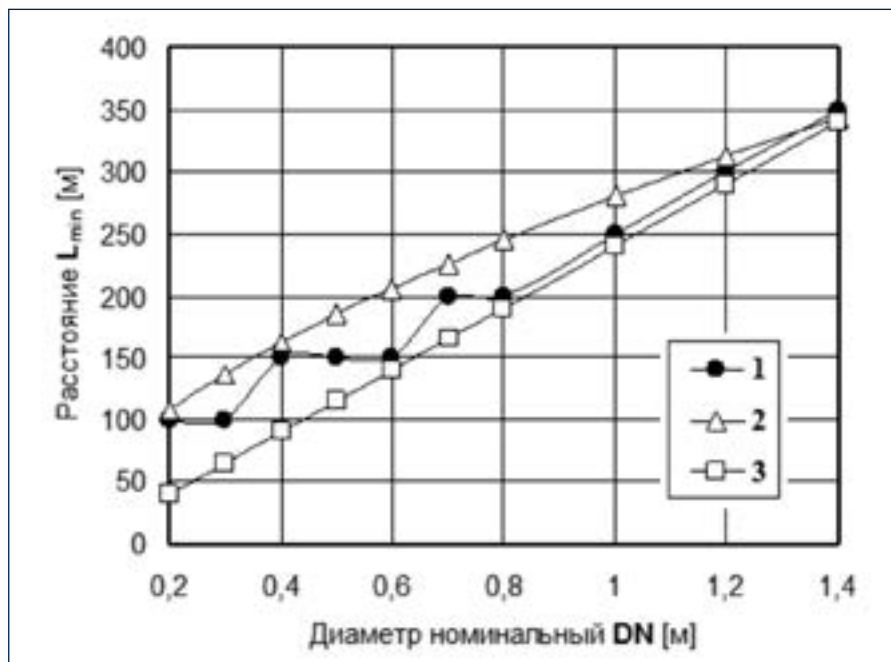


Рис. 1. Изменение расстояния от оси газопровода до объекта (L_{\min}) в зависимости от его номинального диаметра (DN): 1 – объекты, здания и сооружения O_1 (табл.); 2 – расчет по формуле (4); 3 – расчет по формуле (5)

$$F = f_0 + x \cdot f_1 + y \cdot f_2 + z \cdot f_3,$$

$$F = \ln L_{\min}; f_0 = \ln L_0; f_1 = \ln A; f_2 = \ln B; f_3 = \ln C. \quad (3)$$

В результате получаем задачу регрессии [9–11] с неизвестными параметрами f_0 , x , y и z , которые находятся методом наименьших квадратов [12].

Решая задачу регрессии с учетом исходных данных (табл.), находим неизвестные параметры:

$$L_0 = \exp(f_0) = 280,2; x = 0,17; y = 0,004; z = 0,6.$$

В конечном итоге функционально-аналитическую зависимость минимального расстояния от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке L_{\min} м можно представить в виде:

$$L_{\min} = 280,2 \cdot A^{0,17} \cdot B^{0,004} \cdot C^{0,6}. \quad (4)$$

Кроме того, учитывая мнение экспертов о значительном влиянии давления на величину безопасного расстояния, зависимость (4) можно представить в виде:

$$L_{\min} = 250 \cdot A^{0,125} \cdot B^{0,5} \cdot C. \quad (5)$$

Степень соответствия полученных функционально-аналитических зависимостей иллюстрируется на графиках рисунка, отражающих зависимости минимальных расстояний от оси магистральных газопроводов до объектов и сооружений при подземной прокладке от диаметров газопроводов.

Из рисунка видно, что по группе объектов, зданий и сооружений O_1 теоретические кривые с достаточной степенью точности совпадают с табличным описанием величины минимального расстояния. Однако целью настоящей работы не является подбор аналитических зависимостей, в наибольшей степени отвечающих таблицам нормативно-технических документов. Из приведенных рассуждений лишь следует, что принцип задания раз и навсегда фиксированных минимальных расстояний не кажется оптимальным. Должен быть разработан метод их назначения с позиций риска конкретных ситуаций и алгоритм пересмотра этих расстояний по мере поступления дополнительной информации. По всей видимости, табличная форма задания безопасных расстояний с градацией по классам трубопроводов не является наилучшей.

Литература:

1. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Беляева В.Я. и др. Нефтегазовое строительство. – М.: Омега-Л, 2005. – 774 с.
2. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Гинзбург А.В. и др. Инвестиционно-строительный инжиниринг: Справочник для профессионалов. – М.: Елима, 2008. – 1216 с.
3. Будзуляк Б.В., Салюков В.В., Колотовский А.Н., Алексашин С.П., Селиверстов В.Г. Магистральный трубопроводный транспорт газа в терминах и определениях: Справочник. – М.: ИРЦ «Газпром», 2007. – 248 с.
4. Быков Л.И., Мустафин Ф.М., Рафиков С.К. и др. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. – СПб.: Недра, 2006. – 824 с.
5. Колотилов Ю.В., Митрохин М.Ю., Короленок А.М. и др. Экспертная система мониторинга линейной части магистральных газопроводов. – М.: Известия, 2009. – 445 с.
6. СНиП 2.05.06-2010 «Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы». – Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. – М.: ОАО «ВНИИСТ», 2010. – 86 с.
7. СТО Газпром 2-2.1-249-2008 «Магистральные газопроводы». – М.: ИРЦ «Газпром», 2008. – 97 с.
8. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». – М.: Газпром экспо, 2009. – 264 с.
9. Вапник В., Глазкова Т., Кошечев В. и др. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. – М.: Наука, 1984. – 815 с.
10. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – М.: Диалектика, 2007. – 912 с.
11. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. – М.: Наука, 1976. – 736 с.
12. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. Введение в теорию. – М.: Наука, 1977. – 440 с.

UDC 621.644.07

N.I. Ulko, General Director, Gazprom Gazoraspredeleniye Kirov JSC; **A.M. Korolenok**, Doctor of Science (Engineering). Professor, Dean of Faculty «Design, Construction and Operation of Pipeline Transportation Systems», Head of Department «Supply of Oil Products and Gas», Federal State Budgetary Education Institution of Higher Professional Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas»; **A.S. Miklush**, Deputy Head of Department, Corrosion Protection, Gazprom StroyTEK Salavat CJSC

Representation of the distances from the main gas pipelines axis to the facilities and structures for buried arrangement in the form of analytical dependencies

This paper deals with industrial safety of main gas pipelines, as well as with use of computational equipment for functional and analytical dependencies implementation in order to determine minimum distances from the main gas pipelines axis to the facilities and structures for subsurface pipelining. The described approaches enable assurance of minimum distances standardization in view of the gas pipelines industrial safety, which subject is closely monitored by the specialists of the fuel and energy complex in the USA and in a number of leading European countries, involving the risk methodology that helps not only to consider the probabilistic nature of accidents and identify a hazard in terms of quality, but also outline the efficient methods and means for the risk reduction to an acceptable level. Certain researches in this regard are being conducted in Russia as well. However, currently there is no unified scientific and methodical base of the researches conducted in this field of expertise, which hampers its efficient use at the fuel energy facilities, in particular, in one of its most important process chain links - main gas pipelines.

Keywords: main gas pipeline, operational risk, environment, standardization of minimum distances, failure, probabilistic methods, statistical methods, facility significance, operating pressure, gas pipeline diameter.

References:

1. Mazur I.I., Shapiro V.D., Belyayeva V.Ya. and others. Neftegazovoe stroitel'stvo (Construction in oil and gas business). – Moscow: Omega-L, 2005. – 774 p.
2. Mazur I.I., Shapiro V.D., Ginzburg A.V. and others. Investitsionno-stroitel'nyi inzhiniring (Investment and construction engineering): Reference book for professionals. – Moscow: Elima, 2008. – 1216 p.
3. Budzulyak B.V., Salyukov V.V., Kolotovskiy A.N., Aleksashin S.P., Seliverstov V.G. Megistral'nyi truboprovodnyi transport gaza v terminakh i opredeleniyakh (Gas transportation by main gas pipelines. Terms and definitions): Reference book. – Moscow: Information and Advertising Center of Gazprom, 2007. – 248 p.
4. Bykov L.I., Mustafin F.M., Rafikov S.K. and others. Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov (Standard calculations for construction and repair of gas and oil pipelines). – SPb.: Nedra, 2006 – 824 p.
5. Kolotilov Yu.V., Mitrokhin M.Yu., Korolenok A.M. and others. Ekspertnaya sistema monitoring lineinoi chasti magistral'nykh gazoprovodov (Expert system for monitoring the linear part of main gas pipelines). – Moscow: Izvestiya, 2009. – 445 p.
6. SNiP 2.05.06-2010 «Stroitel'nye normy i pravila. Magistral'nye truboprovody» («Construction standards and rules. Main pipelines»). – Updated revision of SNiP 2.05.06-85*. – Moscow: VNIIST OJSC, 2010. – 86 p.
7. STO of Gazprom 2-2.1-249-2008 «Magistral'nye gazoprovody» («Main gas pipelines»). – Moscow: Information and Advertising Center of Gazprom, 2008. – 97 p.
8. STO of Gazprom 2-2.3-351-2009 «Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska dlya opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov gazotransportnykh predpriyatiy OAO «Gazprom» («Methodical guidelines for performance of risk analysis in respect of hazardous production facilities at gas transportation companies of Gazprom JSC»). – Moscow: Gazprom expo, 2009. – 264 p.
9. Vapnik V., Glazkova T., Koshcheyev V. and others. Algoritmy i programmy vosstanovleniya zavisimostei (Algorithms and programs for dependencies recovery). – Moscow: Nauka, 1984. – 815 p.
10. Dreyper N., Smith G. Prikladnoi regressiynni analiz. Mnozhestvennaya regressiya (Applied regression analysis. Multiple regression). – Moscow: Diialektika, 2007. – 912 p.
11. Candall M.J., Stewart A. Mnogomernyi statisticheskii analiz i vremennye ryady (Multidimensional statistical analysis and time series). – Moscow: Nauka, 1976. – 736 p.
12. Godunov S.K., Ryabenskiy V.S. Raznostnye skhemy. Vvedenie v teoriyu (Difference scheme. Introduction to theory). – Moscow: Nauka, 1977. – 440 p.