

Качественная модель оценки экологического риск-фактора магистрального газопровода и некоторые аспекты его надежности

Дмитрий Намгаладзе¹,

Ирма Кавтарадзе²

¹ Грузинский технический университет,
Факультет энергетики,
Тбилиси, Грузия

² Национальная комиссия
по регулированию энергетики
и водоснабжения Грузии
E-mail: dimatangaladze@yahoo.com

Рассмотрен интегральный экологический фактор риска магистрального газопровода как стохастическая величина. С использованием качественной модели предложена методика определения этой величины как суперпозиции (наложения) всех кривых плотностей распределения вероятности величин, вызывающих в пиковых ситуациях неисправности в два последующих момента времени. Сумма полученных значений факторов риска равна значению интегрального фактора риска. Разность между назначенным фактором риска и полученным значением указывает на состояние магистрального газопровода. Получены аналитические выражения для плотностей распределения вероятности показателя готовности магистральных газопроводов для различных плотностей распределения вероятности наработки и времени восстановления. В частности, рассматриваются следующие распределения вероятности: экспоненциальное, нормальное, кусочно-гладкая функция Шумана, гамма-распределение, распределение Вейбулла, степенные распределения. Предложены схемы анализа готовности магистральных газопроводов, основанные на различных подходах к готовности системы (детерминированный и стохастический), оценены их информативность, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: магистральный газопровод, экологический риск-фактор, охрана окружающей среды, надежность, коэффициент готовности

ВВЕДЕНИЕ

Основным принципом экологизации природопользования является системный подход к решению социально-экономических и социально-экологических проблем, в рамках которого в полной мере реализуется концепция обеспечения устойчивого развития природно-технической системы. В течение длительного периода основной задачей природоохранной деятельности в мире были выявление и наказание виновных в загрязнении окружающей среды, фиксация и анализ последствий аварий и нарушений на объектах. Эта концепция постепенно себя изживает и происходит переход к формированию наступательной стратегии упреждения аварий и нарушений, минимизации их вероятности, стратегии управления рисками, контроля и управления техногенными и природными процессами в рамках природно-

технической системы. В связи с этим важное значение приобретает определение риск-фактора магистрального газопровода и связанные с этим качественные модели, чему в основном и посвящена настоящая работа.

Магистральные газопроводы (МГ) – линейная часть, насосные станции, их конструкции, конструктивные элементы и оборудование – относятся к числу наиболее распространенных среди сложных и ответственных с экономической, экологической и социальной точек зрения инженерных объектов [1]. Обеспечению их исправной и безотказной работы во всем мире уделяется особое внимание. Несомненно следует различать надежность и безопасность МГ.

При определении надежности МГ, независимо от типа, конструкций и условий работы, наиболее общей является следующая трактовка: надежность – важнейшее интегральное свойство объекта, которое характеризует

его способность выполнять требуемые функции при установленных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта в течение заданного периода времени [2]. Что касается безопасности, то это способность выполнять требуемые функции при заданных условиях в течение заданного интервала времени [2].

Строительство, затем функционирование МГ вносят значительные изменения в окружающую среду (ОС). Под воздействием многочисленных факторов со стороны МГ на окружающую среду подразумевается любое влияние, которое полностью или частично обусловлено функционированием МГ.

Оценка воздействия на охрану окружающей среды (ООС) должна быть проведена согласно существующему в стране законодательству и международным стандартам.

В работе предпринята попытка определить интегральный экологический фактор риска МГ как стохастическую величину. С использованием качественной модели предложена методика определения этой величины – суперпозиция (наложение) всех кривых плотностей распределения вероятности величин, в пиковых ситуациях вызывающих неисправность в два последующих момента времени.

Несмотря на то, что на сей день имеется большое количество исследований надежности МГ, вопрос нельзя считать исчерпанным. В частности, при рассмотрении интенсивностей отказов и восстановлений МГ, как правило (часто не обоснованное), априори принимается экспоненциальное или же нормальное распределение этих величин. В настоящей работе с применением теории композиции и преобразования случайных величин получены аналитические выражения для плотности распределения вероятности показателя готовности (при различных плотностях распределения вероятности наработки и времени восстановления).

КАЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСК-ФАКТОРА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

В настоящее время существует весьма приблизительная методика оценки воздействия на ОС, хотя этому вопросу уделяется большое международное внимание и без экологической экспертизы немисливо осуществить любой более или менее важный проект.

По нашему мнению, это вызвано не технократическим мышлением экологов, которые в основном представлены биологами, зоологами, химиками и т. д. Экологические экспертизы главным образом сводятся к феноменологическому описанию и не дают (в принципе и не могут дать) практических рекомендаций по улучшению тех или иных последствий внесения возмущений в ОС. Существующие оценки воздействия ОС, такие как

методы приближенных оценок с помощью сеток воздействия (методы слабых и чувствительных воздействий), не выдерживают критики и являются весьма приближенными.

Мы считаем, что экологическая экспертиза, связанная с инженерными сооружениями, должна не только описывать последствия воздействия на ОС, но и предлагать инженерные решения по уменьшению этих воздействий.

В настоящей работе сделана попытка качественно оценить воздействие на ОС в продолжение всего периода функционирования и эксплуатации МГ.

Не призывая к радикальным переменам в существующей области, остановимся на таком важнейшем критерии, каким является фактор риска. Здесь же отметим, что в литературных источниках, за исключением [3, 4], нет четкого определения этой величины, а ее значение оценивается как слабое, незначительное, чувствительное, сильное, мощное и т. д. Количественные оценки этой величины и ее определяющая методика нам не известны (мы специально не ссылаемся на литературные источники, так как их количество заняло бы объем, превышающий объем настоящей работы, как минимум, на порядок).

Постараемся обосновать несколько наших позиций, которые возможно будут интересны для исследователей инженерно-экологических проблем.

Что такое фактор риска (или риск-фактор, как его именуют во многих исследованиях)? По нашему мнению, это вероятность вмешательства в ОС, с вытекающими из этого последствиями. Далее, чем может быть вызван этот фактор риска? Здесь может быть несколько подходов. Остановимся на одном из них, не исключая остальные.

Рассмотрим весь цикл функционирования МГ. Он состоит из следующих стадий: строительство (подразумевается, что проектирование уже осуществлено), ввод в эксплуатацию, основной срок эксплуатации, исчерпание ресурсов и реабилитация окружающей среды после окончания эксплуатации.

Схема изменения фактора риска, который мы на данном этапе не определяем однозначно, представлена на рис. 1. Принимаются следующие предпосылки: 1) Фактор риска однозначно оценивается как стохастическая величина; 2) Вероятность внесения возмущения в ОС наиболее велика на стадии строительства; 3) После введения в эксплуатацию вероятность риска несколько уменьшается; 4) С введением в эксплуатацию МГ вероятность фактора риска возрастает; 5) При исчерпании ресурсов МГ фактор риска достигает максимального значения; 6) После консервирования МГ, эксплуатация которого завершена, возможно несколько вариантов – необратимые и обратимые явления, которые следует рассматривать отдельно. Отметим, что наблюдается явно выраженная аналогия между рассмотренным процессом и кривой

интенсивности отказов за все время эксплуатации системы.

Из представленной схемы видно, что рассматривается интегральный фактор риска (еще раз подчеркнем, что это стохастическая величина).

Интегральный фактор риска складывается из вызванных авариями локальных факторов риска, которые на протяжении МГ могут изменяться. Типичная схема такого изменения представлена на рис. 2. Назовем аварией незапланированный случай отклонения от нормальных эксплуатационных условий, который может повлечь за собой поражение персонала, загрязнение ОС и повреждение собственности, а также нарушение нормальной работы систем и оборудования. Причинами аварий могут быть коррозия металла труб, строительные и сельскохозяйственные работы, раскопы, стихийные бедствия

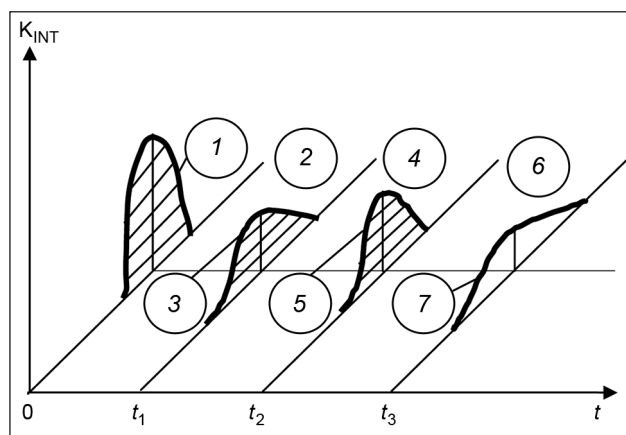


Рис. 1. Изменение интегрального фактора риска МГ во времени: 1 – строительство; 2 – приработочный период; 3 – начальная стадия нормальной эксплуатации; 4 – эксплуатация; 5 – конец эксплуатации; 6 – консервирование; 7 – остаточное воздействие

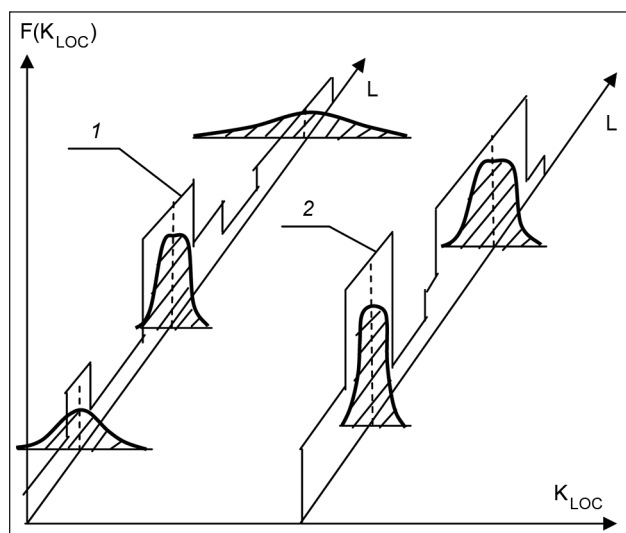


Рис. 2. Изменение локального фактора риска на протяжении МГ. 1 – оползень; 2 – сопротивление грунта

(например, землетрясение, оползни и т. д.). Обуславливающие аварии факторы могут быть или не быть подвержены контролю. Поэтому понимание коренных причин возникающих на МГ аварий дает возможность предотвратить их повторное возникновение. Можно выделить три основные причины возникновения аварий, воздействующих на ОС: ненадлежащие стандарты и системы управления МГ или отсутствие таковых; несоблюдение конкретных стандартов и систем по МГ; недостаточность соответствующих средств физического контроля.

На рис. 2 представлено изменение во времени и по длине МГ всего двух факторов риска (оползень и сопротивление грунта). Естественно, таких факторов может быть довольно много (некоторые из них были названы выше). Методика определения интегрального фактора риска состоит в следующем: 1. Производится суперпозиция (наложение) всех кривых плотностей распределения вероятности в два последующих момента времени, в пиковых ситуациях; 2. Определяются площади перекрытия отмеченных кривых; 3. Сумма полученных величин (локальных значений факторов риска) будет численно равна значению интегрального фактора риска; 4. Разность между назначенным (нормативным) фактором риска и полученным значением будет указывать на состояние МГ. Чем меньше эта разность, тем хуже состояние МГ.

Предложенная методика довольно трудоемка, однако реально осуществима, поскольку на всех крупных МГ существует служба экологического мониторинга.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Аварийные отказы МГ не только препятствуют непрерывному потреблению энергоносителя, они могут вызвать разрушения строительных конструкций и травмирование персонала. Может быть причинен значительный ущерб окружающей среде. Поэтому актуален вопрос надежности МГ (безотказность, долговечность, ремонтопригодность и готовность) как самой значительной технической характеристики системы. Проблема обеспечения надежности носит комплексный характер, и ее решение зависит от совместных усилий ученых, конструкторов, технологов изготовителей, специалистов по эксплуатации и ремонту.

При рассмотрении интенсивностей отказов и восстановлений, как правило (часто не обоснованное), априори принимается экспоненциальное или же нормальное распределение этих величин. Рассмотрим один из основных показателей надежности – коэффициент готовности (при различных распределениях наработки и времени восстановления).

Коэффициенту готовности уделяется большое внимание как на стадии проектирования, так и при эксплуатации МГ. Эта величина определяется как вероятность того, что МГ работает удовлетворительно в любой

момент времени. Учитывается время работы объекта и его простоя. Коэффициент готовности – детерминированная величина и представляет собой отношение математического ожидания наработки (μ_t) к сумме этой величины и математического ожидания времени восстановления (μ_τ) [5]:

$$K = \frac{\mu_t}{\mu_t + \mu_\tau}. \quad (1)$$

Под временем восстановления подразумевается сумма следующих времен: собственно ремонта, время его организации, время организации обеспечения запасными частями и время повторной эксплуатации.

Введение величины коэффициента готовности несомненно полезно, так как эта величина дает некоторую информацию о надежности объекта, однако не надо забывать, что как наработка (t), так и время восстановления (τ) – стохастические величины, поэтому если ввести так называемый показатель надежности [6]

$$y = \frac{t}{t + \tau}, \quad (2)$$

его последовательные значения будут отличаться от значений, полученных по формуле (2).

Исчерпывающую информацию можно получить, определяя плотность распределения вероятности величины y , если известны плотности распределения вероятности величин t и τ [5]. Эта задача решается сравнительно легко, когда величины t и τ распределены по экспоненциальному закону (нормальный период эксплуатации) [6], однако при рассмотрении МГ часто имеют место усталостные и коррозионные отказы, поэтому необходимо рассмотрение и других случаев.

Допустим, что величины t и τ некоррелированы и распределены по нормальному закону с математическими ожиданиями μ_t и μ_τ и со среднеквадратичными отклонениями σ_t и σ_τ [7].

Величины t и τ взаимно независимы, поэтому их общая плотность распределения вероятности будет равна:

$$f(t, \tau) = f_1(t) f_2(\tau), \quad (3)$$

где $f_1(t)$ и $f_2(\tau)$ – соответственно плотности распределения вероятности величин t и τ . В таком случае плотность распределения вероятности величины y определяется следующим образом [6]:

$$g(y) = \int_0^1 f[t(z); z] \frac{\partial(t, \tau)}{\partial(y, z)} dz, \quad (4)$$

где $t(z) = \frac{yz}{1-y}$ – получается из выражения для показателя готовности (2), а матрица Якоби $\frac{\partial(t, \tau)}{\partial(y, z)}$ равняется:

$$\frac{\partial(t, \tau)}{\partial(y, z)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial t}{\partial y} & \frac{\partial \tau}{\partial y} \\ \frac{\partial t}{\partial z} & \frac{\partial \tau}{\partial z} \end{vmatrix} = \frac{z}{(1-y)^2}. \quad (5)$$

Поэтому

$$g(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_t\sigma_\tau} \int_0^1 \frac{z}{(1-y)^2} \exp \left\{ - \left[\frac{\left(\frac{yz}{1-y} - \mu_t \right)^2}{2\sigma_t^2} - \frac{(z - \mu_\tau)^2}{2\sigma_\tau^2} \right] \right\} dz. \quad (6)$$

Обозначим

$$D = \frac{1}{2\pi\sigma_t\sigma_\tau(1-y)^2} \quad (7)$$

и приведем показатель степени экспоненты к полному квадрату: $Az^2 - Bz + C$, где

$$A = \frac{y\sigma_\tau^2 + (1-y)\sigma_t^2}{z(1-y)^2\sigma_t^2\sigma_\tau^2}; \quad (8)$$

$$B = \frac{y\mu_t\sigma_\tau^2 + (1-y)\mu_\tau\sigma_t^2}{(1-y)\sigma_t^2\sigma_\tau^2}; \quad (9)$$

$$C = \frac{\sigma_t^2\mu_t^2 - \sigma_\tau^2\mu_\tau^2}{2\sigma_t^2\sigma_\tau^2}. \quad (10)$$

Если учесть, что

$$Az^2 - Bz + C = A \left(z - \frac{B}{2A} \right)^2 + \left(C - \frac{B^2}{4A} \right), \quad (11)$$

то из (3) получим, что

$$g(y) = \frac{D}{2A} \int_0^1 z \exp \left[A \left(z - \frac{B}{2A} \right)^2 - \left(C - \frac{B^2}{4A} \right) \right] dz$$

и окончательно:

$$g(y) = \frac{D}{2A} e^{-\left(C - \frac{B^2}{4A} \right)} \left[e^{\frac{B^2}{4A}} + B \sqrt{\frac{\pi}{A}} \Phi \left(\frac{B}{\sqrt{2\pi}} \right) \right], \quad (12)$$

где $\Phi(x)$ – функция нормированного, нормального распределения, таблицы значений которого существуют в литературе [8].

Если обозначить:

$$\begin{cases} a = \frac{\sigma_t}{\sigma_\tau}; \\ b = \frac{\mu_t}{\sigma_t}; \\ c = \frac{\mu_\tau}{\sigma_\tau} \end{cases} \quad (13)$$

и пренебречь бесконечно малыми членами, получим:

$$g(y) = \frac{a[yb + (1-y)ac]}{[y^2 + (1-y)^2 a^2]^{3/2}} \exp \left\{ - \left[\frac{b^2 + c^2}{2} - \frac{[yb + (1-y)ca]^2}{2[y^2 + (1-y)^2 a^2]} \right] \right\} \Phi \left[\frac{yb + (1-y)ca}{\sqrt{y^2 + (1-y)^2 a^2}} \right]. \quad (14)$$

На рис. 3 показаны полученные с помощью зависимости (14) графики плотности распределения вероятности показателя готовности для различных значений параметров a, b и c . Из графиков очевидна связь изменения формы и диапазона функций в зависимости от этих параметров.

Для отдельных МГ существует некоторая корреляция между временем восстановления и последующей за ней наработкой.

Определим плотность распределения вероятности показателя готовности, если наработка и время восстановления коррелированы с коэффициентом корреляции ρ и распределены нормально:

$$f(t, \tau) = \frac{1}{2\pi\sigma_t\sigma_\tau\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{t-\mu_t}{\sigma_t}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{t-\mu_t}{\sigma_t}\right)\left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right) + \left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right)^2\right]\right\}. \quad (15)$$

Аналогично предыдущему расчету для плотности распределения вероятности показателя готовности получим:

$$g(y) = \frac{a[(b-\rho c)y + a(1-y)(c-b\rho)]}{\sqrt{2\pi[y^2 - 2\rho y(1-y)a + (1-y)^2 a^2]}} \cdot \exp\left\{-\left[\frac{b^2 - 2\rho c + c^2}{2(1-\rho^2)} - \frac{[(b-\rho c)y + a(1-y)(c-b\rho)]^2}{2(1-\rho^2)[y^2 - 2\rho y(1-y)a + (1-y)^2 a^2}\right]\right\} \cdot \Phi\left[\frac{(b-\rho c)y + a(1-y) + a(1-y)(c-b\rho)}{1(1-\rho^2)\sqrt{y^2 - 2\rho y(1-y)a + (1-y)^2 a^2}}\right], \quad (16)$$

где a, b и c определены согласно (13).

На рис. 4 показаны графики величины y для различных значений коэффициента корреляции.

Если наработка имеет нормальное распределение с параметрами μ и σ , а время восстановления экспоненциальное с параметром λ , то плотность распределения

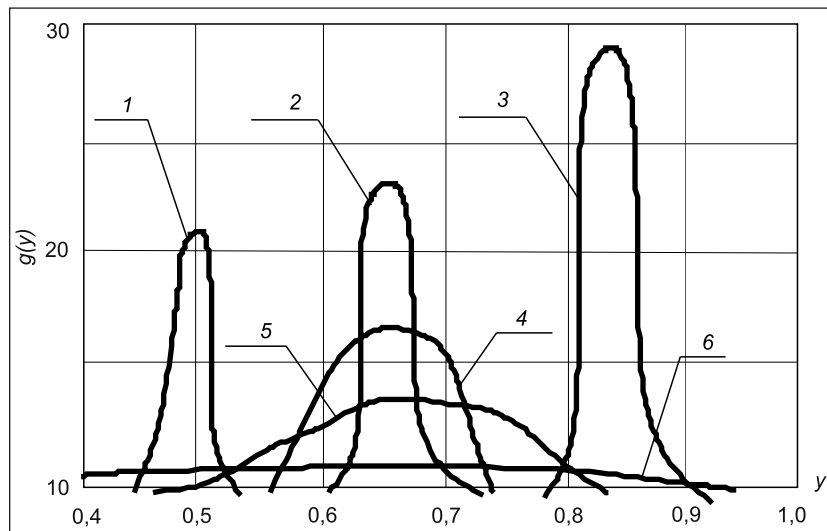


Рис. 3. Графики плотности распределения вероятности показателя готовности при нормальном распределении наработки и времени восстановления и при нулевой корреляции между ними. 1 - $a=1; b=c=20$; 2 - $a=2; b=c=20$; 3 - $a=5; b=c=20$; 4 - $a=2; b=c=10$; 5 - $a=2; b=c=5$; 6 - $a=2; b=c=2$

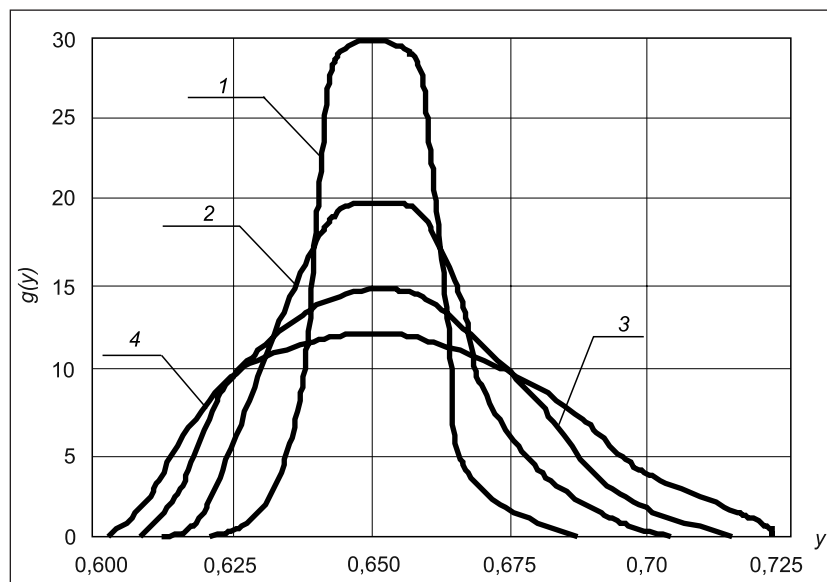


Рис. 4. Графики плотности распределения вероятности показателя готовности при нормальном распределении наработки и времени восстановления и при ненулевой корреляции между ними. 1 - $\rho=0,7$; 2 - $\rho=0,5$; 3 - $\rho=0,3$; 4 - $\rho=0,1$

вероятности показателя готовности определяется следующей зависимостью:

$$g(y) = \frac{aby - (1-y)}{b^2 y^3} \exp\left\{-\left[\frac{a^2}{2} - \frac{aby - (1-y)}{2b^2 y^2}\right]\right\} \Phi\left[\frac{aby - (1-y)}{by}\right], \quad (17)$$

где $a = \frac{\mu}{\sigma}$; $b = \frac{\lambda}{\sigma}$; $\frac{1}{ab-1} < y \leq 1$.

Когда наработка распределена экспоненциально с параметром λ , а время восстановления нормально с параметрами μ и σ , тогда плотность распределения вероятности величины y определяется выражением:

$$g(y) = \frac{ab(1-y) - y}{b^2 y^3} \exp\left\{-\left[\frac{a^2}{2} - \frac{ab(1-y) - y}{2b^2(1-y)^2}\right]\right\} \Phi\left[\frac{ab(1-y) - y}{b(1-y)}\right]. \quad (18)$$

Графики плотности распределения вероятности показателя готовности, построенные по зависимостям (17) и (18), представлены на рис. 5 и 6.

Рассмотрим случай, когда наработка описывается той частью кусочно-гладкой функции Шумана, которой соответствует возрастающая во времени интенсивность отказов [3]:

$$f_1(t) = (ct + \xi) \exp\left[-\left(\frac{ct^2}{2} + \xi t\right)\right], \quad (19)$$

а время восстановления описывается гамма-распределением:

$$f_2(t) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\beta t}, \quad (20)$$

где c, ξ, α, β – параметры распределения. В этом случае имеют место частые короткие и редкие длительные отказы. Выражение для определения плотности распределения вероятности величины y имеет следующий вид:

Рис. 5. Графики плотности распределения вероятности показателя готовности при нормальном распределении наработки и экспоненциальном распределении времени восстановления. 1 – $a = 20; b = 10$; 2 – $a = 20; b = 20$; 3 – $a = 20; b = 40$; 4 – $a = 20; b = 100$; 5 – $a = 20; b = 200$

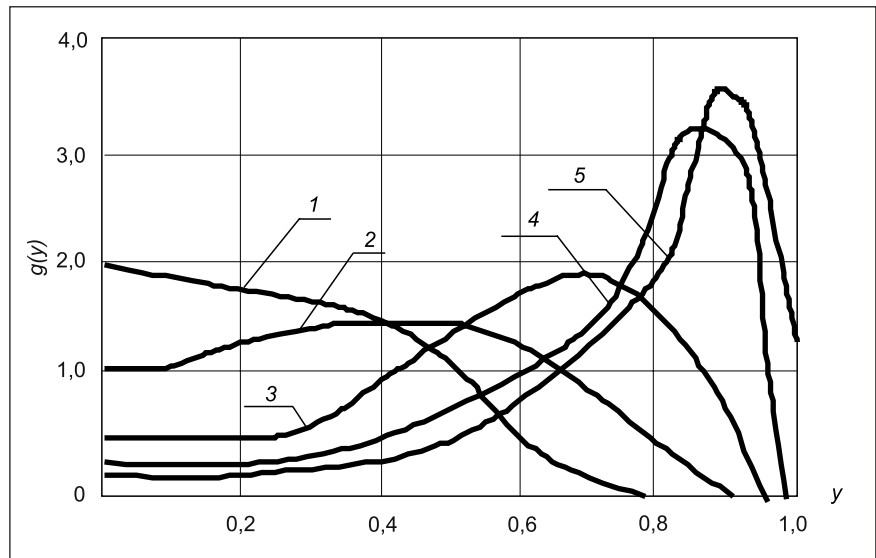
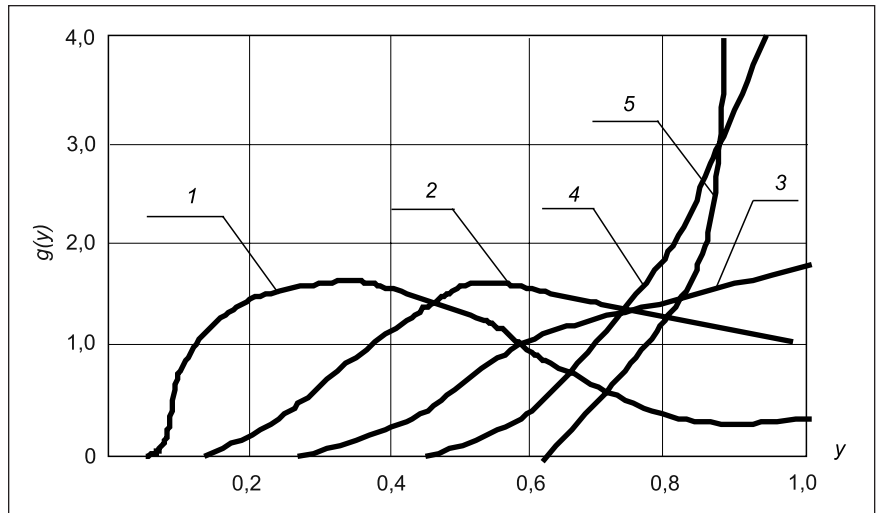


Рис. 6. Графики плотности распределения вероятности показателя готовности при нормальном распределении времени восстановления и экспоненциальном распределении наработки. 1 – $a = 20; b = 40$; 2 – $a = 20; b = 20$; 3 – $a = 20; b = 10$; 4 – $a = 20; b = 4$; 5 – $a = 20; b = 2$



$$g(y) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)(1-y)^3} \int_0^1 \left[z \left(\frac{cyz}{1-y} + \xi \right) z^{\alpha-1} e^{-\beta t} \right] \exp \left\{ - \left[\frac{cy^2 z^2}{2(1-y)^2} + \xi \frac{yz}{1-y} \right] \right\} dz. \quad (21)$$

Интеграл (21) решается численными методами.

Так же решается интеграл, когда наработке соответствует распределение Вейбулла:

$$f_1(t) = \frac{\beta_2}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta_2-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta_2} \right], \quad (22)$$

где β_2 и θ – параметры распределения.

$$g(y) = \frac{\beta_1 \beta_2}{\Gamma(\alpha) \theta^{\beta_2}} \int_0^1 z^{\alpha-1} e^{-\beta_2 z} \left(\frac{yz}{1-y} \right)^{\beta_2-1} \exp \left\{ - \left[\frac{yz}{\theta(1-y)} \right]^{\beta_2} \right\} dz. \quad (23)$$

Рассмотрим случай, когда наработка и время восстановления не коррелируют и имеют степенные плотности распределения вероятности:

$$f_1(t) = \beta_1 t^{\beta_1-1}; \quad (24)$$

$$f_2(t) = \beta_2 \tau^{\beta_2-1}, \quad (25)$$

где β_1 и β_2 – параметры распределения. Этим распределениям соответствуют возрастающие во времени интенсивности отказа и восстановления.

Очевидно, что совместная плотность распределения вероятности равна:

$$f(t, \tau) = f_1(t) f_2(\tau) = \beta_2 \beta_1 t^{\beta_1-1} \tau^{\beta_2-1}. \quad (26)$$

Тогда плотность распределения вероятности величины y равна:

$$\begin{aligned} g(y) &= \int_0^1 \beta_1 \left(\frac{yz}{1-y} \right)^{\beta_1-1} \beta_2 z^{\beta_2-1} dz = \\ &= \frac{\beta_1 \beta_2}{(1-y)^{\beta_1-1} (1-y)^2} \int_0^1 z^{\beta_1-1} z^{\beta_2-1} dz = \\ &= \frac{\beta_1 \beta_2}{(1-y)^{\beta_1+1}} \int_0^1 z^{\beta_1+\beta_2-2} dz = \\ &= \frac{\beta_1 \beta_2}{(1-y)^{\beta_1+1}} \frac{1}{(\beta_1 + \beta_2)} z^{\beta_1+\beta_2-1} \Big|_0^1 = \frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} \frac{1}{(1-y)^{\beta_1+1}}. \end{aligned} \quad (27)$$

Графики функций $g(y)$ для различных β_1 и β_2 показаны на рис. 7 и 8. Очевидно влияние параметров β_1 и β_2 на форму графиков $g(y)$.

На основании рассмотренного примера можно сделать некоторые выводы, которые будут справедливы и в общих случаях:

1. Если рассматривается коэффициент готовности, то по известным распределениям вероятностей следует определить математические ожидания μ_t и μ_τ . Поскольку

$$\mu_t = \int_0^1 t f(t) dt = \beta_1 \int_0^1 t^{\beta_1} dt = \frac{\beta_1}{\beta_1 + 1}$$

и, соответственно, $\mu_\tau = \frac{\beta_2}{\beta_2 + 1}$, коэффициент готовности равен:

$$K = \frac{\frac{\beta_2}{\beta_2 + 1}}{\frac{\beta_1}{\beta_1 + 1} + \frac{\beta_2}{\beta_2 + 1}} = \frac{\beta_1(\beta_2 + 1)}{\beta_1(\beta_1 + 1) + \beta_2(\beta_1 + 1)}. \quad (28)$$

2. Если рассматривается показатель готовности, следует определить математическое ожидание величины y :

$$\mu^y = \int_0^1 y g(y) dy = \frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} \int_0^1 \frac{y}{(1-y)^{\beta_1+1}} dy. \quad (29)$$

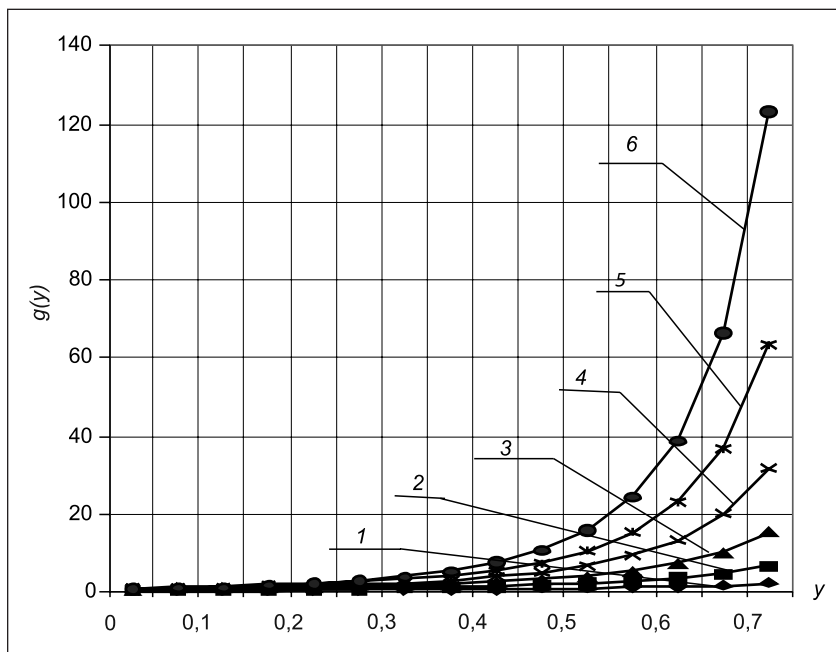


Рис. 7. Графики функций $g(y)$ для различных β_1 и β_2 ($\beta_2 = 1,5$). 1 – $\beta_1 = 0,5$; 2 – $\beta_1 = 1,0$; 3 – $\beta_1 = 1,5$; 4 – $\beta_1 = 2,0$; 5 – $\beta_1 = 2,5$; 6 – $\beta_1 = 3,0$

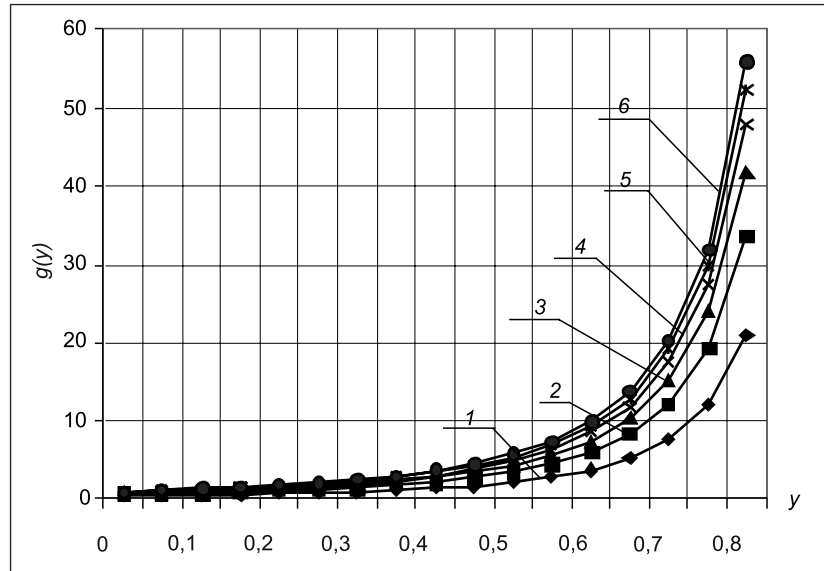


Рис. 8. Графики функций $g(y)$ для различных β_1 и β_2 ($\beta_2 = 1,5$). 1 – $\beta_2 = 0,5$; 2 – $\beta_2 = 1,0$; 3 – $\beta_2 = 1,5$; 4 – $\beta_2 = 2,0$; 5 – $\beta_2 = 2,5$; 6 – $\beta_2 = 3,0$

Этот интеграл не решается в элементарных функциях, и решение получается численными методами.

3. Величины, определяемые формулами (28) и (29), отличаются друг от друга (полученная по формуле (29) гораздо более информативна).

ВЫВОДЫ

1. В работе рассматривается интегральный экологический фактор риска магистрального газопровода как стохастическая величина. С использованием качественной модели предложена методика определения этой величины – суперпозиция (наложение) всех кривых плотностей распределения вероятности величин, в пиковых ситуациях вызывающих неисправность в два последующих момента времени. Сумма полученных значений факторов риска равна значению интегрального фактора риска. Разность между назначенным (нормативным) фактором риска и полученным значением будет указывать на состояние магистрального газопровода.

2. Получены аналитические выражения для плотностей распределения вероятности показателя готовности магистральных газопроводов при различных плотностях распределения вероятности наработки и времени восстановления. В частности, рассматриваются следующие распределения вероятности: экспоненциальное, нормальное, кусочно-гладкая функция Шумана, гамма-распределение, распределение Вейбулла, степенные распределения.

3. Предложена схема анализа готовности магистральных газопроводов, основанная на различных подходах к готовности системы (детерминированный и стохастический), оценены их информативность, достоинства и недостатки.

Литература

1. Векслер А. Б., Ивашинцов Д. А., Стефанишин Д. В. *Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятия решения*. Санкт-Петербург: Изд-во ВНИИГ, 2002. 413 с.
2. ГОСТ 27.002-89. *Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения*. Москва: Изд-во стандартов, 1990. 54 с.
3. Мирцхулава Ц. Е. *Прогнозирование общего размыва в мостовых переходах и в местах пересечения рек нефтегазопроводами с учетом времени*. Тбилиси: Мецниереба, 2001. 39 с.
4. Мирцхулава Ц. Е. *Экологические нарушения (предсказание риска нарушения, меры по снижению опасности)*. Тбилиси: Мецниереба, 1993. 437 с.
5. Гнеденко Б. В., Беляев А. Д., Соловьев А. Д. *Математические методы теории надежности*. Москва: Наука, 1965. 524 с.
6. Уалкер Э. *Эффективность систем. Справочник по надежности*. Т. 1. Москва: Наука, 1983. 217 с.
7. Кокс Д., Смит В. *Теория восстановления*. Москва: Советское радио, 1987. 323 с.
8. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. *Таблицы математической статистики*. Москва: Наука, 1983. 416 с.

Dmitrij Namgaladzė, Irma Kavtaradzė

KOKYBINIS MAGISTRALINIO DUJOTIEKIO RIZIKOS VEIKSNIO MODELIO ĮVERTINIMAS IR PATIKIMUMO ASPEKTAI

Santrauka

Analizuojamas magistralinio dujotiekio integralinis ekologinės rizikos veiksnys, kaip stochastinis parametras. Naudojant kokybinį modelį šio veiksnio dydžio nustatymo metodika pagrįsta superpozicija, t. y. visų tankių tikimybinio pasiskirstymo parametrais, lemiančiais ir sukeliančiais gedimus per du nuoseklius laiko momentus, esant pikinėms situacijoms. Gautųjų rizikos veiksnių suma lygi integralinio rizikos veiksnio reikšmei. Numatomo ir gautojo rizikos veiksnių skirtumas apibūdina magistralinio dujotiekio būklę. Gautos analitinės tikimybinės tankio pasiskirstymo išraiškos taikytinos magistraliniams dujotiekiams. Analizuojami šie tikimybiniai pasiskirstymai: eksponentinis, normalinis, Šumano funkcija, gama, Veibulo ir laipsninis. Pateikiamos magistralinių dujotiekių analizės schemos ir įvertinimai.

Raktažodžiai: magistralinis dujotiekis, ekologinis rizikos veiksnys, aplinkosauga, patikimumas

Dmitrij Namgaladzė, Irma Kavtaradzė

THE QUALITATIVE MODEL OF ASSESSING THE ECOLOGICAL RISK FACTOR OF A GAS-MAIN AND SOME ASPECTS OF ITS RELIABILITY

Summary

The integral ecological risk factor of a gas-main is considered as a stochastic quantity. It is suggested to define this quantity using a qualitative model as a superposition of all the curves of probability distribution densities for fault-causing quantities at two subsequent moments of time in peak situations.

The sum total of the obtained quantities of risk factor values numerically equals the value of the integral risk factor. The difference between the designed risk factor and the obtained value will indicate the condition of the gas-main. Analytical expressions are obtained for the probability distribution density of the gas-main readiness index, for different probability distribution densities of the operating time and the restoration time. The following probability distributions are examined specifically: exponential, normal, Shooman's piece-smooth function, gamma distribution, Waybull's distribution and degree distributions. Graphs are offered for the analysis of a gas-main readiness; they are based on a different approach to the readiness of the system (determinate and stochastic). The informativeness, merits and demerits of the graphs are pointed out.

Key words: gas-main, ecological risk factor, environmental protection, reliability, coefficient of readiness