

Использование программного обеспечения для оценки экологического риска эксплуатации нефтепроводов

В.Е. Савенок, А.Н. Стариченко

Учреждение образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»

Одним из главных, потенциально опасных загрязнителей окружающей среды являются магистральные нефте- и продуктопроводы. Оценка экологического риска эксплуатации объектов трубопроводного транспорта включает оценку вероятности возникновения аварий на этих объектах. Разработано унифицированное программное обеспечение для определения вероятности аварий на магистральных нефтепроводах. В программе учитываются восемь основных критериев: внешние антропогенные воздействия; коррозия; качество производства труб; качество строительно-монтажных работ; конструктивно-технологические факторы; природные воздействия; эксплуатационные факторы; дефекты металла трубы и сварных швов. Для определения вероятности аварии использовали распределение Парето. Программа позволяет рассчитывать весовые коэффициенты факторов риска для различных нефтепроводов исходя из имеющихся статистических данных. Применение данной компьютерной программы снижает время, необходимое для оценки вероятности аварий на магистральных нефтепроводах и оценки экологического риска эксплуатации нефтепроводов в целом.

Ключевые слова: авария, риск, нефтепровод, вероятность, параметр, программа, критерии.

Use of software for the estimation of ecological risk of oil pipelines operation

V.E. Savenok, A.N. Starichenko

Educational establishment «Vitebsk State University named after P.M. Masherov»

One of the main, potentially hazardous contaminants of the environment is trucking oil- and product lines. The evaluation of ecological risk of operation of plants of pipeline transport involves the estimation of accidents risk on these plants. Unified software is worked out for detecting the probability of accidents on oil pipelines. Eight basic criteria are taken into account in the software: exterior human impacts; corrosion attack; quality of pipes; quality of construction works; design and technological factors; connatural impact; operation factors; faulty pipe metal and joint welds. Pareto's distribution was used to detect the probability of an accident. The program makes it possible to estimate weighting coefficients of risk factors for various oil pipelines on the basis of available statistical data. The application of the presented computer program reduces time necessary for the evaluation of accident probability as well as the evaluation of ecological risk of oil pipelines operation on the whole.

Key words: accident, risk, oil pipeline, probability, parameter, program, criteria.

В настоящее время актуальной проблемой, стоящей перед всеми промышленно развитыми странами мира, является борьба с нефтяными загрязнениями окружающей среды. Одним из главных, потенциально опасных загрязнителей окружающей среды (главным образом воды и почвы), являются магистральные нефте- и продуктопроводы. Обеспечение безопасности транспортных коридоров нефти и нефтепродуктов является задачей первостепенной важности и для Республики Беларусь. По территории нашего государства трассы магистральных нефтепроводов проложены в четырех технических коридорах, а суммарная длина всех трубопроводов в одностороннем исчислении составляет примерно 4000 километров. Аварии на трубопроводном транспорте, связанные с аварийными разливами нефти, наносят значительный ущерб окружающей среде. Экологический риск выражает опасность негативных воздействий на природу, опасность нарушения нормального существования биоценозов,

деградации почв, ухудшение воздушного бассейна, негативных изменений горно-геологических структур в результате деятельности человека. Понятие экологического риска применимо к объектам магистрального трубопроводного транспорта, так как при их эксплуатации следует рассматривать риски процессов деградации воздушного и водного бассейнов, почв, ландшафтов и земных недр.

Оценка экологического риска – это комплексная область, которая базируется на целом ряде понятий и оцениваемых параметров. Оценка экологического риска эксплуатации объектов трубопроводного транспорта, прежде всего, включает оценку вероятности возникновения аварий на этих объектах. В настоящее время исследователями, оценивающими надежность объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических объектов, разработано множество различных математических моделей, позволяющих оценить вероятность риска на этих потенциально опасных, с точки зрения возможных

аварий связанных с разливом нефти, объектов, в том числе на трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов [1–5]. В то же время имеется большой разброс в оценках вероятности и возникновения аварий, т.к. исследователями закладываются различные критерии оценки, а также различные вероятность и весовой вклад каждого из критериев.

Цель данного исследования заключалась в разработке унифицированного программного обеспечения для определения вероятности аварий на магистральных нефтепроводах, которое позволяет гибко реагировать (автокорректироваться) в зависимости от различных статистических данных и факторов риска.

Материал и методы. Оценка вероятности возникновения аварий (риска аварий) проводится для магистрального нефтепровода определенной длины. Магистральный нефтепровод разбивается на технологические участки. Определение риска аварий проводится отдельно для каждого участка и в целом для магистрального нефтепровода. В настоящее время выделяют десятки параметров – критериев риска, по которым оценивается риск аварий [6]. В нормативном документе, принятом в Российской Федерации для оценки степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и применяемом в Республике Беларусь [7], выделено восемь основных критериев:

- 1) внешние антропогенные воздействия (человеческий фактор);
- 2) коррозия;
- 3) качество производства труб;
- 4) качество строительно-монтажных работ;
- 5) конструктивно-технологические факторы;
- 6) природные воздействия;
- 7) эксплуатационные факторы;
- 8) дефекты металла трубы и сварных швов.

Используем данные критерии в программе, по которой можно оценить вероятность возникновения аварии на нефтепроводе с разливом определенного количества нефти.

В исходных данных задается участок трубопровода L (км), причем предусмотрено, что его протяженность может быть любой.

Для рассматриваемого участка вводится массив данных, включающий статистику аварий за определенный временной промежуток, общее количество разлитой нефти (нефтепродуктов), в том числе количество аварий по каждой из восьми причин и объем разлитой нефти в каждом году рассматриваемого промежутка времени. Этот промежуток задается пользователем в годах и может быть любой. Причем го-

ды могут указываться как календарные, так и статистические. Пользователем производится отсечение по тоннажу разлитой нефти. Это позволяет отсекаать аварии, тоннаж которых не большой в сравнении с условиями данного алгоритма. Значения меньше заданной величины не учитываются при расчетах. Обычно за пороговую величину принимают 0,1–1 тонну нефти и нефтепродуктов.

После заполнения вышеизложенных исходных данных с помощью программы определяется общая вероятность аварии на трубопроводе по следующей формуле:

$$P = \sum_{i=1}^8 P_i \cdot w_i, \quad (1)$$

где P_i – средняя (общая) вероятность аварии по i -той причине за рассматриваемый период времени; $w_i = \frac{S_i}{S}$ – весовой коэффициент данной

причины за рассматриваемый период времени; $S = \sum S_i$ – общее число аварий за рассматриваемый период времени; $S_i = \sum s_{ij}$ – общее число аварий по i -той причине, являющееся суммой числа аварий за каждый j -тый год рассматриваемого периода времени.

Проверочный расчет: $\sum_{i=1}^8 w_i = 1$ – сумма всех

восьми весовых коэффициентов за рассматриваемый промежуток времени всегда должна быть равна 1. Следует отметить, что весовой коэффициент – не статическая величина, а определяемая в каждом конкретном случае в зависимости от статистических данных величина.

По программе определяется также вероятность аварии на 1 км трубопровода:

$$P_{1\text{км}} = P/L, \quad (2)$$

где L – длина трубопровода, км.

Для определения вероятности аварии по i -той причине и общей вероятности аварии по формулам (1), (2) использовали распределение Парето [8], для которого функция распределения $F(x) = \text{Prob}\{\zeta < x\}$, определяющая вероятность того, что соответствующая случайная величина принимает значение, меньшее x , задается соотношением:

$$\begin{cases} 1 - x^{-\alpha}; & x \geq 1; & \alpha > 0 \\ 0; & x < 1 \end{cases}. \quad (3)$$

Будем считать, что в нашем случае «хвост» распределения удовлетворительно описывается степенной зависимостью при x , превышающем некоторый известный порог x_0 . При этом не обязательно, чтобы это приближение выполня-

лось для всего диапазона наблюдаемых значений, достаточно, чтобы оно выполнялось для «хвоста» распределения, т.е. при $x > x_0$. Действительно, для распределений с тяжелыми «хвостами» основной вклад в суммарный эффект S_n вносят наибольшие наблюдения. Поэтому указанное пороговое ограничение не скажется заметно на оценке вероятностных характеристик сумм S_n при достаточно больших значениях n . После перенормировки на известное значение порога можно считать, что нормированные величины x/x_0 имеют распределение Парето (3).

Оценка максимального правдоподобия $\hat{\alpha}$ для параметра α имеет вид [8]:

$$\hat{\alpha} = \left[\frac{1}{S_i} \sum \ln\left(\frac{x_i}{x_0}\right) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где x_i – разлив нефти по данной причине в данном году, x_0 – отсечение по тоннажу, S_i – общее количество аварий по данной причине.

В качестве разброса этой оценки можно взять стандартное отклонение [8]:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Временной период существования современных магистральных нефтепроводов исчисляется лишь несколькими десятками лет. При этом постоянно строятся новые нефтепроводы. Следовательно, даже накопленная статистика уже является малоинформативной. Период повторяемости крупных аварий точно назвать весьма затруднительно. Что касается физически или экономически обоснованных пределов экологического риска, то они могут иметь даже глобальный характер, как это имело при аварии на нефтяной платформе *British Petroleum* в Персидском заливе Атлантического океана в 2010 г. В связи с этим для описания потерь от аварий на магистральных нефтепроводах рассмотрим усеченное распределение Парето с функцией распределения [8]:

$$F(x) = \begin{cases} 1; & x > x_0 \\ \frac{1 - x^{-\alpha}}{1 - x_0^{-\alpha}}; & 1 \leq x \leq x_0 \\ 0; & x < 1 \end{cases} \quad (6)$$

Точку усечения x_0 оцениваем, исходя из выборки $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$. В некоторых работах [4] для оценки параметра x_0 используется несмещенная оценка $\hat{x}_0$, имеющая максимальную дисперсию среди всех несмещенных оценок. Она имеет вид:

$$\hat{x}_0 = m_n + \frac{1}{n\beta\left(\frac{m_n}{m_0}\right)} \pm \frac{1}{n\beta\left(\frac{m_n}{m_0}\right)}, \quad (7)$$

где $\beta\left(\frac{x}{x_0}\right) = F'\left(\frac{x}{x_0}\right)$ – плотность вероятности.

Подставив в (7) усеченный закон Парето (6), получим:

$$\hat{x}_0 = m_n + \frac{m_n^{1+\alpha}}{n\alpha} \pm \frac{m_n^{1+\alpha}}{n\alpha}. \quad (8)$$

В качестве приближенной оценки точки перелома, где нелинейный эффект роста суммарного эффекта сменяется линейным, можно взять следующее значение n^* [8]:

$$n^* = 1,5 \ln 2 \cdot x_0^{\alpha} \cong x_0^{\alpha}. \quad (9)$$

Переходя к оценкам параметров, получим интенсивность возникновения аварий [8]:

$$n^* = \hat{x}_0^{\alpha} = \left(m_n + \frac{m_n^{1+\hat{\alpha}}}{n\hat{\alpha}} \right)^{\hat{\alpha}}, \quad (10)$$

где m_n – максимальное значение x из выборки; $\hat{\alpha}$ – оценка максимального правдоподобия, которая определяется по формуле (4).

Отметим ненадежность практических оценок параметров α и n^* из-за малочисленности данных в области больших значений [8]. Согласно [9], оценка экологического риска с помощью распределения Парето имеет погрешность 25–30%. Тем не менее, даже если стандартное отклонение величины n^* имеет порядок самой величины, такая оценка все же несет общую информацию о диапазоне значений n . Таким образом, вероятность аварии по i -той причине в программе определяется:

$$P_i = \frac{1}{n_i^*}, \quad (11)$$

где n_i^* – интенсивность возникновения аварий по i -ой причине, вычисляемая по формуле (10).

Результаты и их обсуждение. В настоящее время расхождение в весовых коэффициентах основных факторов риска составляет в различных источниках до 80%. Так, весовой критерий первого критерия «антропогенные воздействия», который считается главным, составляет согласно [5] 0,75 (75%), а согласно [7] – 0,2 (20%). Используя разработанную программу можно установить точное значение весового коэффициента данного критерия для каждого конкретного участка нефтепровода за рассматриваемый промежуток времени. Для примера возьмем данные открытой печати по статистике аварий АК «Транснефть», связанных с разливом нефти за три года в период с 2004 г. по 2006 г. (табл.).

Таблица

Статистика аварий АК «Транснефть» за период 2004–2006 гг.

	Годы		
	2004	2005	2006
Всего аварий/разлило нефти, т	11/11550	12/987	7/148
в том числе по <i>i</i> -той причине/разлило нефти, т:			
n_1	6/6400	10/629	2/12
n_2	0/0	0/0	1/16
n_3	2/4450	0/0	0/0
n_4	0/0	1/450	3/100
n_5	0/0	0/0	1/20
n_6	0/0	0/0	0/0
n_7	1/150	1/308	0/0
n_8	2/550	0/0	0/0

В результате проведенных вычислительных экспериментов определено, что весовой коэффициент первого критерия – «антропогенные воздействия», к которому были отнесены незаконная врезка (16 зафиксированных случаев за три года) и срабатывание взрывного устройства (2 случая за три года), составил 0,6. В то же время весовой коэффициент шестого критерия – «природные воздействия» составил 0, т.к. аварий с разливом нефти по этой причине не зафиксировано. Данная программа позволяет вычислить вероятность аварии любого заданного объема нефти. Так, в рассматриваемом примере интенсивность аварий составит $2,86 \cdot 10^{-3}$ в год на 1 км нефтепровода. При этом общая вероятность аварии с разливом 1 и более тонн нефти составляет 0,87, а вероятность аварии с разливом 1 и более тонн нефти на 1 км трубопровода – $2,50 \cdot 10^{-4}$. Если же оценивать общую вероятность аварии с разливом 100 и более тонн нефти для имеющихся данных, указанных в табл., то она составит 0,07, а общая вероятность аварии на 1 км трубопровода – $1,99 \cdot 10^{-5}$.

Заключение. Программа позволяет рассчитывать весовой вклад факторов риска для различных нефтепроводов, исходя из имеющихся статистических данных. С учетом полученных весовых коэффициентов проводится оценка вероятности аварий на участках нефтепровода, которая может быть распространена на однотипные участки со сходными условиями эксплуатации. Применение данной компьютерной программы сведет к минимуму время, необходимое для оценки как вероятности аварий

на магистральных нефтепроводах, так и оценки экологического риска эксплуатации нефтепроводов в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дадонов, Ю.А. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС / Ю.А. Дадонов [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 6. – С. 2–6.
2. Гражданкин, А.И. Современные подходы обеспечения безопасности и предупреждения аварийности и производственного травматизма на опасных производственных объектах трубопроводного транспорта на основе процедуры анализа риска / А.И. Гражданкин [и др.]; ФГУП «НТИЦ «Промышленная безопасность», ВНИИГАЗ. – Режим доступа: <http://hazard.fromru.com/RiskPipe/riskMNMG.htm>.
3. Мохсен, А. Анализ риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов / А. Мохсен, Г. Фрумин // Science-education. – 2008. – С. 76–81. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/32-r1210>.
4. Токарев, Д.В. Оценка вероятности возникновения аварий на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятиях / Д.В. Токарев // Нефтегазовое дело. – 2005. – № 6. – Режим доступа: www.orgbus.ru.
5. Лисанов, М.В. Анализ риска магистральных нефтепроводов при обосновании проектных решений, компенсирующих отступления от действующих требований безопасности / М.В. Лисанов [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 3. – С. 6–10. – Режим доступа: www.safety.ru.
6. Липский, В.К. Промышленная безопасность магистральных газопроводов: метод. пособие / В.К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2003. – 94 с.
7. РД. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах / колл. авт. – 3-е изд., испр. – Согласовано Госгортехнадзором России 07.07.99 № 10-03/418, утв. АК Транснефть, переутв. 17.12.2009 № 04-12/21592. – М.: Изд. НТИЦ «Промышленная безопасность», 2009. – Серия 27. Выпуск 1.
8. Владимиров, В.А. Управление риском / В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьев, С.С. Салов. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
9. Азаров, С.И. Об оценке экологических рисков при техногенных авариях: в 3 т. / С.И. Азаров, В.Л. Сидоренко, Е.В. Быкова // ЧС: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докладов V Междунар. науч.-практ. конф., Минск 8–9 июля 2009 г. / НИИПБ и ПЧС. – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 38–41.

Поступила в редакцию 31.05.2011. Принята в печать 30.06.2011

Адрес для корреспонденции: 210024, г. Витебск, пр-т Белобородова, д. 1/2, кв. 129, тел. (+375-33) 324-80-21 – Савенок В.Е.