А.М.Козлитин, А.И.Попов
Саратовский технический университет
П.А.Козлитин
Саратовский филиал Военного артиллерийского университета

УДК 502.5; 502.7

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАКТИКА СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ АВАРИЙ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

В результате проведенных исследований выполнен анализ безопасности функционирования магистрального трубопроводного транспорта на основе оценки экологического риска, определяемого исходя из эффективности диагностирования, профилактических мероприятий, при учете влияния рельефа местности и массы аварийного выброса нефти. Анализ экологических рисков аварийного выброса нефти позволил выявить наиболее опасные участки магистрального трубопровода, разработать инженерные мероприятия по охране окружающей среды, заключающиеся в установке дополнительных запирающих устройств, создании дополнительных «амбаров» для сбора нефти, обваловке территории.

As a result of investigations conducted there has been made analysis for the main pipeline transport operation safety in terms of the ecological risk evaluation to be determined proceeding from diagnosis efficiency, preventive measures, geomorphology of abnormal oil spill mass analysis. There have also been

revealed the most hazardous main pipeline sections, as well as there have been developed and introduced engineering procedures intended for environmental control consisting in installing additional cut-off facilities, building supplementary storage pits for picking up oil and banking-up the territory on the basis of abnormal oil spill ecological risks analysis.

Для внедрения методологии анализа и снижения экологических рисков аварий на магистральных трубопроводах в практику управления экологической безопасностью магистральных нефтегазопроводов и продуктопроводов авторами разработаны методики определения экологических рисков магистрального трубопроводного транспорта, в которых предложен достаточно универсальный инструмент оценки последствий аварий на магистральных трубопроводах – экологический риск* На основе разработанных методик проведен анализ безопасности и расчет экологических рисков функционирования линейной части магистральных нефтегазопроводов и продуктопроводов в реальных конкретных условиях центральных регионов России и Крайнего Севера**

В качестве основной опасности (фактора риска) эксплуатации магистральных нефтепроводов рассматривается возможность их разгерметизации с выбросом нефти и нанесением прямого ущерба трем основным компонентам окружающей среды: литосфере, гидросфере и атмосфере. Математическая модель экологического риска для рассматриваемых компонентов экосистемы представлена системой уравнений

$$\begin{cases} R(\text{У}_\text{э}) = \sum_{i}^{n}\sum_{j}^{m}\sum_{k}^{z} R_{ijk}(E_\text{э})\text{У}_{\text{эj}}^{\text{уд}} M_{ik}; \\ R_{ijk}(E_\text{э}) = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f_i(M) P_{jk}(E_\text{э}) dM; \\ \text{У}_{\text{эj}}^{\text{уд}} = b_j^{\lim} K_{\text{и}j} C_j, \end{cases}$$

где $R(\text{У}_\text{э})$ – экологический риск; $R_{ijk}(E_\text{э})$ – потенциальный риск экологического ущерба для j-й компоненты экосистемы на i-м участке трассы при реализации k-го сценария аварии; $\text{У}_{\text{эj}}^{\text{уд}}$ удельный экологический ущерб для j-й компоненты экосистемы; M – масса аварийного выброса нефти на i-м участке трассы нефтепровода при реализации k-го сценария аварии; $f_i(M)$ – плотность распределения частот аварийных выбросов нефти на i-м участке трассы; $P_{jk}(E_\text{э})$ – параметрический закон поражения j-й компоненты экосистемы при условии реализации k-го сценария аварии; $b_j^{\lim}$ – повышающий коэффициент за сверхлимитное загрязнение j-й компоненты экосистемы; $K_{\text{и}j}$ – коэффициент инфляции при оценке ущерба для j-й компоненты экосистемы; C_j – комплекс, определяющий ставку платы за загрязнение j-й компоненты экосистемы; $[M_{\min}, M_{\max}]$ – определяемый профилем трассы диапазон возможных аварийных выбросов нефти на рассматриваемом i-м участке нефтепровода; n – число шагов дискретизации трассы нефтепровода; m число рассматриваемых компонент экосистемы; z – число сценариев развития аварии на рассматриваемом участке трассы.

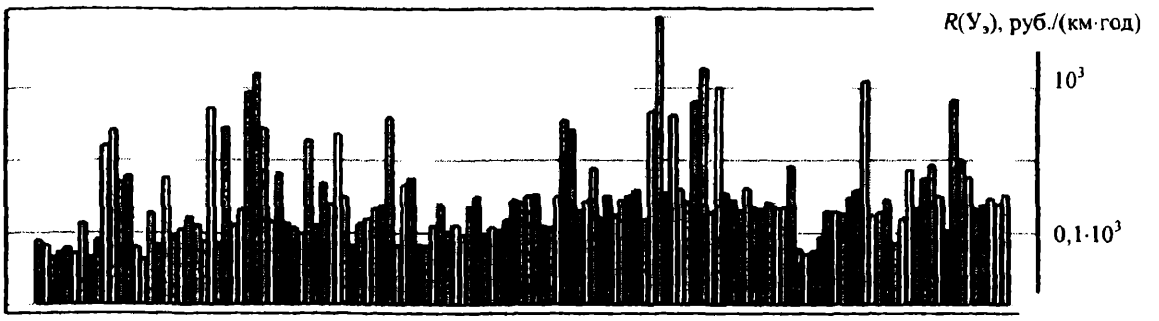
Последовательность количественной оценки экологического риска включает расчет массы аварийного выброса нефти M_i на i-м участке магистрали с учетом профиля трассы и режима перекачки, определение удельного экологического ущерба $\text{У}_{\text{эj}}^{\text{уд}}$ для j-й компоненты экосистемы на рассматриваемой территории, обоснование параметрического закона поражения j-й компоненты экосистемы $P_j(E_\text{э})$, построение регрессионной модели реализации всего спектра возможных аварий на i-м участке магистрали нефти $f_i(M)$.

В качестве основной характеристики экологической опасности магистрального нефтепровода в пораженном состоянии рассматривается масса нефти, участвующая в

---

* *Козлитин А.М.* Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы / А.М.Козлитин, А.И.Попов. Саратовский технический ун-т. Саратов, 2000.

** *Козлитин А.М.* Методика определения экологических рисков аварий на магистральных нефтепроводах / А.М.Козлитин, Ю.Н.Голиков, А.И.Попов // Экологическая и промышленная безопасность магистральных трубопроводов: Межвуз. сборник науч. трудов. Саратовский технический ун-т. Саратов, 2000.



Гистограмма распределения экологического риска вдоль нефтепровода

аварии. Поэтому определяется характер распределения массы неконтролируемого выброса нефти по частотам реализации аварии, т. е. плотность частот аварийных выбросов на i-м участке трассы $f_i(M)$. Функция $f_i(M)$ определяется методами регрессионного анализа. Процедура построения регрессионной модели состоит из следующих, в достаточной степени самостоятельных, этапов.

На первом этапе разрабатывается все множество возможных сценариев развития аварии и для каждого из них рассчитывается масса неконтролируемого выброса нефти. Его величина для данного профиля i-го участка трассы при прочих равных условиях зависит от следующих случайных параметров: размера аварийного отверстия и полного времени истечения, складывающегося из времени остановки перекачки, времени закрытия задвижки, времени прекращения утечки аварийно-восстановительными бригадами. По результатам расчета определяется множество неконтролируемых выбросов нефти для различных эквивалентных диаметров аварийного отверстия и различных сценариев развития аварий и формируется матрица масс $\|M_{ij}\|$.

На втором этапе определяется множество вероятностей реализации принятых к рассмотрению сценариев развития экологических аварий. По данным о характере аварий с учетом экспертных оценок моделируются плотность распределения вероятностей размера аварийного отверстия и времени остановки истечения нефти. На их основе формируется матрица вероятностей появления соответствующих аварийных ситуаций $\|P_{ij}\|$.

Далее на основе анализа ретроспективной информации по статистике аварий и причинам их возникновения на линейной части нефтепровода с привлечением экспертных оценок локальных условий эксплуатации нефтепровода на рассматриваемом i-м участке трассы определяется локальная результирующая частота экологической аварии $\lambda_л$ и формируется матрица частот реализации сценариев аварий $\|\lambda_{ij}\| = \lambda_л \times \|P_{ij}\|$. Полученный массив данных по аварийным выбросам $\|M_{ij}\|$ и частотам их появления $\|\lambda_{ij}\|$ обрабатывается методами регрессионного анализа в системе STATGRAPHICS *Plus v-3.0*. На его основе устанавливается регрессионная зависимость плотности распределения частоты экологических аварий от массы аварийных выбросов нефти на рассматриваемом участке трассы.

Вид регрессионной модели и значения ее параметров в значительной степени зависят от исходной базы данных, конструктивно-технологических характеристик и технического состояния рассматриваемого участка трассы, структуры причин аварий, уровня наблюдаемости системы и степени автоматизации нефтепровода, внешних локальных условий эксплуатации, топографических особенностей местности и других факторов.

На основании проведенных расчетов построена гистограмма распределения экологического риска вдоль реальной трассы магистрального нефтепровода с шагом дискретизации 1 км (см. рисунок).

Гистограмма распределения экологического риска вдоль линейной части нефтепровода позволяет ранжировать участки трассы по уровню опасности загрязнения экосистем окружающей среды. Эти участки приняты в качестве приоритетных в проведении первоочередных мероприятий по защите окружающей среды и выработке инженерных решений, направленных на снижение риска.

Анализ безопасности и расчет экологического риска функционирования линейной части магистрального нефтепровода, проведенный для реальных условий его функционирования с учетом программы диагностирования, профилактических мероприятий, рельефа местности и т.п., позволил обосновать и внедрить инженерные мероприятия по охране окружающей среды на наиболее опасных участках, в том числе водном переходе через крупную реку: установку дополнительных запирающих устройств, устройство дополнительных «амбаров» для сборки нефти, обваловку территории и др. Предложенные инженерные решения позволили снизить экологический риск загрязнения реки в случае аварии на технологическом оборудовании подводного перехода с $2{,}86 \cdot 10^4$ до $3{,}36 \cdot 10^3$ руб/(км·год).