

УДК 004.492.2

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ФИЗИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Кукало Иван Анатольевич,

аспирант каф. радиоэлектроники и защиты информации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40. E-mail: i@kukalo.ru

Гривцов Сергей Николаевич,

ведущ. специалист отдела координации охранной деятельности Службы безопасности АО «Транснефть – Центральная Сибирь», Россия, 634050, г. Томск, ул. Набережная р. Ушайки, д. 24. E-mail: GrivtsovSN@tom.transneft.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности системы физической защиты линейной части магистрального нефтепровода от совершения актов незаконного вмешательства, в частности с 2003 по 2012 гг. на объектах ОАО «АК «Транснефть» было выявлено 4779 фактов несанкционированных врезок в магистральный нефтепровод.

Цель исследования: разработка математической модели по управлению рисками физической безопасности для линейной части магистрального нефтепровода, реализующей принципы ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010.

Методы исследования: матричный и линейный анализ, статистический анализ распределения рисков событий, метод априорного ранжирования, проверка статистических гипотез.

Результаты. Разработана методика управления величиной риска физической безопасности для пространственно-протяженных объектов типа линейной части магистрального нефтепровода. Предложена структурная математическая модель, реализующая процесс управления величиной риска физической безопасности в соответствии с принципами ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010. На этой основе рассмотрен способ распределения ресурсов по времени и участкам линейной части магистрального нефтепровода между несколькими подразделениями, осуществляющими охрану одного магистрального нефтепровода. Описана процедура динамической адаптации параметров математической модели в ходе поступления информации о совершенных актах незаконного вмешательства, а также результатах проведения проверочных мероприятий по их имитации. Произведен анализ пространственно-временного распределения рископонижающего потенциала и уровня риска физической безопасности для участка магистрального нефтепровода «Александровское–Анжеро-Судженск» длиной 100 км. Проведено сравнение рископонижающего потенциала фактически проведенных контрольных мероприятий и мероприятий, предлагаемых к проведению при использовании разработанной методики управления. Показано увеличение рископонижающего потенциала мероприятий на 1 млн 169 тыс. р. и продемонстрировано соответствующее повышение эффективности процесса управления на 26 % за счет обеспечения более равномерного распределения контрольных мероприятий по участкам линейной части магистрального нефтепровода.

Ключевые слова:

Линейная часть магистрального нефтепровода, оценка рисков, управление рисками физической безопасности, пространственно-временное распределение риска, рископонижающий потенциал.

Основные меры, обеспечивающие безопасность, в том числе антитеррористическую защищенность линейных объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в Российской Федерации, устанавливаются Федеральным законом [1]. Известные подходы к управлению безопасностью систем масштаба ТЭК в значительной мере основываются на процедуре категорирования опасных объектов, в результате которой объектам одной категории предъявляются единые требования по обеспечению безопасности [2]. Альтернативой процедуре категорирования является подход по управлению рисками систем физической безопасности (СФБ). Создание подобных систем управления сопряжено с необходимостью решения нескольких взаимосвязанных задач, включающих установление области применения, оценку риска и воздействие на риск [3].

Процедура установления области применения основывается на моделях злоумышленника и угроз СФБ, которые для объектов линейной части магистрального нефтепровода (ЛЧ МН) были описаны нами в работе [4]. Ранее была разработана ме-

тодика оценки величины риска [5], основанная на методике оценки рисков в иерархических структурах критически важных объектов [6] и адаптированная на пространственно-распределенные линейные объекты ТЭК типа ЛЧ МН, учитывая зарубежные [7–9] и отечественные [10–12] разработки по управлению эксплуатационными рисками магистральных нефте- и газопроводов. Основной целью настоящего исследования является разработка последнего элемента системы управления – методики управления величиной риска физической безопасности (ФБ). Кроме того, должно быть проведено обобщение результатов предшествующих исследований [5] в виде структурной математической модели по управлению рисками, реализующей принципы ГОСТ [3].

ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010 выделяет два обязательных процесса, которые должны быть разработаны в системе управления – управление инфраструктурой риска (ИР) и управление риском (УР). Взаимосвязь указанных процессов представлена в виде функциональной схемы (рис. 1).

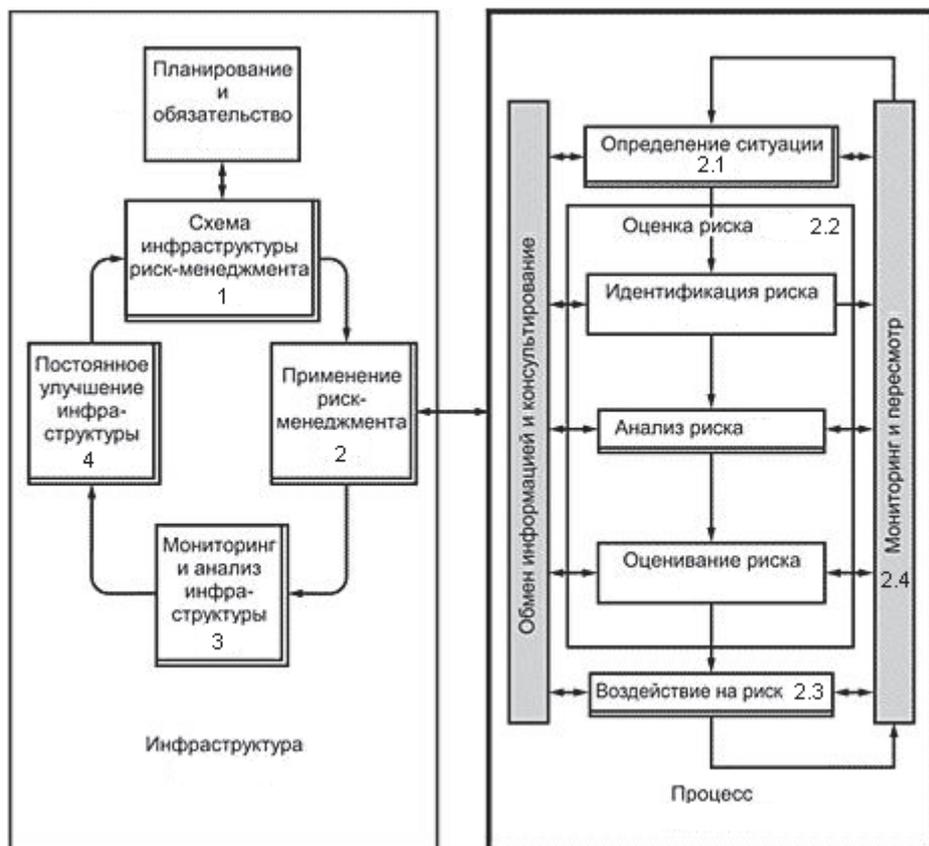


Рис. 1. Взаимосвязи между инфраструктурой и процессом управления величиной риска

Fig. 1. Interaction between the infrastructure and control over risk magnitude

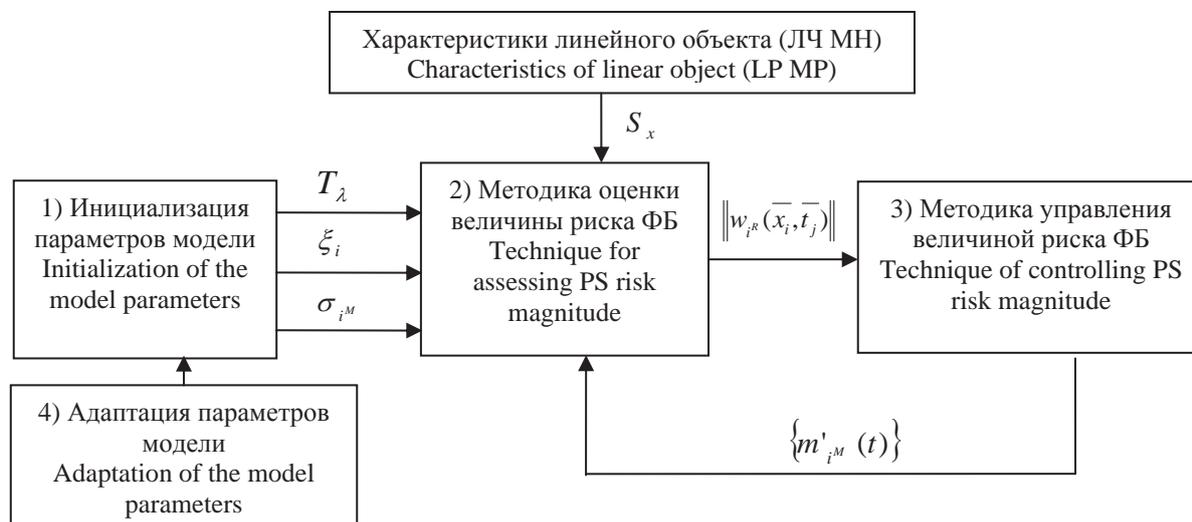


Рис. 2. Структурная математическая модель по управлению величиной риска ФБ

Fig. 2. Structural mathematical model for controlling PS risk magnitude

Авторами была проведена адаптация описанной выше концепции для системы управления рисками ФБ ЛЧ МН. Для этого была проведена привязка этапов ГОСТ к соответствующим элементам системы управления. Результаты сопоставления представлены в табл. 1.

Практическая реализация этапов 2.1–2.4 системы управления обеспечивается структурной математической моделью, которая реализует процесс управления величиной риска ФБ. Схема разработанной модели представлена на рис. 2.

Таблица 1. Реализация принципов ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010

Table 1. Implementation of principles of the State Standard R ISO/MEK 31000–2010

№	Этап процесса по ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010 Stage of the process by the State Standard R ISO/MEK 31000–2010	Система управления рисками ФБ ЛЧ МН Control system of physical safety risk of the linear part of the main oil pipeline (PS LP MP)
1	Разработка ИР Development of risk infrastructure (RI)	Разработка модели управления рисками ФБ ЛЧ МН Development of the model for controlling the risks of PS LP MP
2	Применение ИР Application of RI	Внедрение модели управления рисками ФБ ЛЧ МН Introduction of the model for controlling the risks PS LP MP
2.1	Определение ситуации Definition of situation	Инициализация модели Model initialization
2.2	Оценка риска Risk assessment	Методика оценки рисков ФБ [5] Technique for estimating PS [5]
2.3	Воздействие на риск Risk treatment	Методика управления величиной риска ФБ Technique for controlling PS risk magnitude
2.4	Пересмотр процесса УР Review of risk management (RM)	Адаптация параметров модели Adaptation of the model parameters
3	Мониторинг и анализ ИР Monitoring and analysis of RI	Подбор дополнительных информативных входных параметров для модели Selection of additional informative input parameters for the model
4	Постоянное совершенствование ИР Constant improvement of RI	Корректирование структуры модели управления рисками ФБ Correction of the structure of PS risk control model

Использование математической модели начинается с определения периода по управлению величиной риска T_λ , расчета коэффициентов опасности участков ЛЧ МН ξ , оценки коэффициентов эффективности обнаружения рисков события $\sigma_{\text{вм}}$ для каждого из типов контрольных мероприятий. Затем производится оценка величины риска ФБ $\|w_{i\tau}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$, результаты которой циклически используются при планировании очередного набора контрольных мероприятий $\{m_r(t)\}$. Периодически после выявления актов незаконного вмешательства проводится адаптация параметров модели на основе полученной информации о месте и времени их совершения.

Рассмотрим подробнее каждый из элементов математической модели.

Инициализация модели

Представленные в ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010 и используемые в модели процессы базируются на классическом цикле Шухарта–Деминга (PDCA). В практической деятельности PDCA используется многократно с различной периодичностью. При выполнении основной деятельности циклически повторяющийся процесс PDCA применяется с пе-

риодичностью циклов отчетности и планирования [13], таким образом, возникает проблема определения периода цикла T_λ для процесса управления величиной риска.

Отчетность и планирование мероприятий по обеспечению безопасности ЛЧ МН определяется отраслевым регламентом ОАО «АК «Транснефть» [14] и предполагает, что T_λ совпадает с промежуток времени между совершенными актами незаконного вмешательства. Совершенствование процесса осуществляется после выявления акта незаконного вмешательства и сопровождается составлением отчетных документов по инциденту и планированием нового цикла.

В табл. 2 представлены статистические данные по количеству наиболее распространенных актов незаконного вмешательства – незаконных врезок в ЛЧ МН [15], доля которых в общей структуре преступных посягательств на объекты МН составляет около 70 %.

Таблица 2. Статистические показатели по совершению незаконных врезок в ЛЧ МН

Table 2. Statistic values of illegal taps into LP MP

Наименование субъекта РФ Territorial entity of the RF	λ , инцидентов/год (2012) λ , incidents/year (2012)
Самарская область/Samara region	42
Ханты-Мансийский АО Khanty-Mansiysk AD	22
Иркутская область/Irkutsk region	21
Дагестан/Dagestan	20
Волгоградская область Volgograd region	11
Ростовская область/Rostov region	9
Ульяновская область Ulyanovsk region	7
Краснодарский край, Тюменская область Krasnodar territory, Tyumen region	6
Омская область/Omsk region	3
Ставропольский край Stavropol territory	2
Адыгея, Коми, Курганская область, Оренбургская область, Приморский край, Рязанская область, Саратовская область, Тверская область, Томская область , Ярославская область Adygea, Komi, Kurgan region, Orenburg region, Primorsk territory, Ryazan region, Saratov region, Tver region, Tomsk region, Yaroslavl region	1
Другие субъекты РФ Other territorial entities of the RF	0

Первичный анализ представленных данных позволяет выделить субъекты РФ:

- с высоким уровнем преступности – врезки совершаются с частотой до одного раза в месяц;
- со средним уровнем преступности – врезки совершаются с частотой от одного раза в месяц до одного раза в квартал;

- с низким уровнем преступности – врезки совершаются с частотой менее одного раза в квартал. В частности, Томская область относится к регионам с низким уровнем преступности: в области отмечается положительная динамика по снижению уровня криминогенной обстановки. В 2011 г. на территории области были обнаружены две несанкционированные врезки в МН, в 2012 г. – одна врезка, в 2013 г. врезки зафиксированы не были [15].

Применительно к используемой математической модели и с учетом [5] первичный процесс инициализации ее параметров определяется по следующему алгоритму:

- 1) с использованием известных методов прогнозирования [16–18], на основании имеющихся статистических данных (табл. 1) и оценки частоты совершения актов незаконного вмешательства, рассчитывается период планирования T_λ для ЛЧ протяженностью S_x по формуле:

$$T_\lambda = \frac{1}{\lambda},$$

где λ – частота обнаружения актов незаконного вмешательства.

- 2) определяются группы факторов Gr_a и F_{ab} факторы, влияющие на степень опасности участков ЛЧ МН;
- 3) определяются весовые коэффициенты ρ_i и q_{ab} , учитывающие степень влияния указанных факторов и их групп на вероятность совершения акта незаконного вмешательства;
- 4) методом балльной оценки факторов [19–21] рассчитываются коэффициенты опасности участков ЛЧ МН ξ_i ;
- 5) с учетом T_λ , а также имеющихся ресурсов определяется множество проводимых типов мероприятий $k_{i,m} \in K^M$;
- 6) для всех $k_{i,m}$ методом априорного ранжирования [22] определяются коэффициенты эффективности обнаружения рисков события $\sigma_{i,m} \in (0,1)$.

Методика оценки величины риска ФБ

После определения необходимых параметров модели, следуя [5], мы можем определить первоначальное пространственно-временное распределение вероятности совершения акта незаконного вмешательства $p_{i,r}^0(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$, где $\bar{x}_i \in (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m) \in S_x$ – участок ЛЧ МН; $\bar{t}_j \in (\bar{t}_1, \dots, \bar{t}_n) \in T_\lambda$ – интервал времени с постоянным шагом. Значения $p_{i,r}^0(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$ образуют матрицу распределения величины $\|p_{i,r}^0(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$ (табл. 2).

Отметим также, что рассматриваемая методика позволяет рассчитать вероятность рисков событий по времени $p_{i,r}(\bar{t}_j)$ и по произвольному участку ЛЧ МН $p_{i,r}(\bar{x}_j)$, как:

$$p_{i,r}(\bar{t}_j) = \sum_{i=1}^m p_{i,r}(\bar{x}_i, \bar{t}_j); \quad p_{i,r}(\bar{x}_i) = \sum_{j=1}^n p_{i,r}(\bar{x}_i, \bar{t}_j).$$

Значения $p_{i,r}(\bar{x}_i)$ и $p_{i,r}(\bar{t}_j)$ позволяют разработать способ распределения ресурсов между несколькими

подразделениями, осуществляющими охрану одного МН, на основе данных о первоначальном пространственно-временном распределении вероятности совершения акта незаконного вмешательства.

Таблица 3. Матрица распределения $\|p_{i,r}^0(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$

Table 3. Distribution matrix $\|p_{i,r}^0(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$

t	x				
	\bar{x}_1	...	\bar{x}_i	...	\bar{x}_m
\bar{t}_1	$p_{i,r}(\bar{x}_1, \bar{t}_1)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_i, \bar{t}_1)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_m, \bar{t}_1)$
...
\bar{t}_j	$p_{i,r}(\bar{x}_1, \bar{t}_j)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_m, \bar{t}_j)$
...
\bar{t}_n	$p_{i,r}(\bar{x}_1, \bar{t}_n)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_i, \bar{t}_n)$	...	$p_{i,r}(\bar{x}_m, \bar{t}_n)$

Пусть охрану ЛЧ МН осуществляют Z подразделений, каждое из которых обеспечивает охрану своего участка ЛЧ МН S_z . Учитывая значения $p_{i,r}(\bar{x}_i)$ для участков ЛЧ Z_s , предложим формулу (1) распределения ресурсов (таких как денежные средства, оборудование, трудовые ресурсы и пр.), выделяемых для подразделений, обеспечивающих охрану ЛЧ МН S :

$$Q_{S_z} = \frac{\sum_{S_z} p_{i,r}(\bar{x}_i) S_z}{\sum_{S_x} p_{i,r}(\bar{x}_i) S_x} Q_S, \quad (1)$$

где Q_{S_z} – величина выделенных ресурсов для подразделения Z ; Q_S – общая величина ресурсов, выделенных на поддержку защищенности ЛЧ МН S .

Аналогичный подход может быть применен для временного распределения – разделим общий плановый период охраны T_λ на b частей протяженностью T_b (месяц, квартал и т. д.). Учитывая значения $p_{i,r}(\bar{t}_j)$ для участков ЛЧ T_b , предложим аналогичную формулу (2) распределения имеющихся ресурсов (таких как количество рабочих смен, отпусков, горюче-смазочных материалов, денежных средств и пр.) по времени:

$$Q_{T_b} = \frac{\sum_{T_b} p_{i,r}(\bar{t}_j) T_b}{\sum_{T_\lambda} p_{i,r}(\bar{t}_j) T_\lambda} Q_{T_\lambda}, \quad (2)$$

где Q_{T_b} – величина выделенных ресурсов для периода T_b ; Q_{T_λ} – общая величина ресурсов.

Для оценки величины риска ФБ наряду с определением вероятности нежелательного события должен быть также произведен расчет потерь в результате наступления рисков события [23]. Для линейных объектов транспортной инфраструктуры цену риска c_r (величину ущерба) можно определить как обобщающий показатель некоторых частных значений ущерба физической безопасности ЛЧ МН для рисков события [2] по следующей формуле:

$$c_{i^R} = c_{i^R_{\text{э}}} + c_{i^R_{\text{ад}}} + c_{i^R_{\text{ааэ}}} + c_{i^R_{\text{эиэ}}},$$

где $c_{i^R_{\text{э}}}$ – финансовый ущерб, определяемый численностью погибших и пострадавших; $c_{i^R_{\text{тр}}}$ – финансовый ущерб от кражи транспортируемого сырья и уменьшения грузопотока; $c_{i^R_{\text{бал}}}$ – балансовая стоимость сооружения или стоимость восстановления; $c_{i^R_{\text{экол}}}$ – стоимостное выражение ожидаемого экологического ущерба.

Тогда матрица распределения величины $\|w_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$ может быть определена по формуле умножения матрицы на число

$$\|w_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| = c_{i^R_{\text{э}}} \|p_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|.$$

Матрица $\|w_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$ определяет динамическое, пространственно-временное распределение риска ФБ. Матрица является источником формирования дополнительных интегральных количественных показателей, участвующих в процессе поддержки принятия решений по распределению имеющихся ресурсов для снижения величины риска.

В качестве примера таких показателей в работе [5] было введено понятие накопленного риска $W_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$ – абсолютной величины, описывающей уровень риска в монетарном выражении для участка ЛЧ МН \bar{x}_i на момент времени \bar{t}_j . Также был введен относительный показатель уровня риска $E_{i^R}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)$, выраженный в долях и позволяющий оценить динамику риска произвольного участка ЛЧ. Формулы для расчета показателей приведены в [5].

В дальнейшем рассматриваемая методика позволяет производить переоценку распределения вероятности на основе поступающей информации

о множестве проведенных мероприятий $M^w = \{m^w(t), k_{i^w}\}$, где $i^w \in I^M$ – множество индексов мероприятий; $k_{i^w} \in K^M$ – множество типов мероприятий; $m^w(t)$ – относительная координата мероприятия на ЛЧ МН; $i^T \in (0, T_j)$ – шаги планирования очередного множества мероприятий.

Множество мероприятий, проведенных на шаге $i^T \in T_j$, как показано в [5], позволяют определить результирующую матрицу распределения $\|p_{i^R}^w(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$. Каждому мероприятию соответствует матрица коррекции $\|\Delta p_{i^R}^w(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$, состоящая из матрицы снижения вероятности $\|p_{i^R}^w(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$ и матрицы перераспределения вероятности $\|p_{i^R}^w(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$, связанные формулой

$$\begin{aligned} \|p_{i^R}^{i^T}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| &= \|p_{i^R}^{i^T-1}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| + \|\Delta p_{i^R}^{i^T}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| = \\ &= \|p_{i^R}^{i^T-1}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| + (\|p_{i^R}^{i^T}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\| + \|p_{i^R}^{i^T}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|). \end{aligned}$$

На основе матрицы снижения вероятности определим основной количественный показатель процесса управления рисками – величину рискоснижающего потенциала мероприятия [6] в монетарном выражении $U_{i^R}^{i^T}$

$$U_{i^R}^{i^T} = U_{i^R}(M^{i^T}) = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{i^R}^{i^T}(\bar{x}_i, \bar{t}_j) \right) c_{i^R},$$

где c_{i^R} – величина ущерба от совершения акта незаконного вмешательства.

Для каждого мероприятия определим показатель, который будет отражать эффективность мероприятия относительно других возможных мероприятий, которые могли быть проведены в то же время на альтернативных участках ЛЧ МН

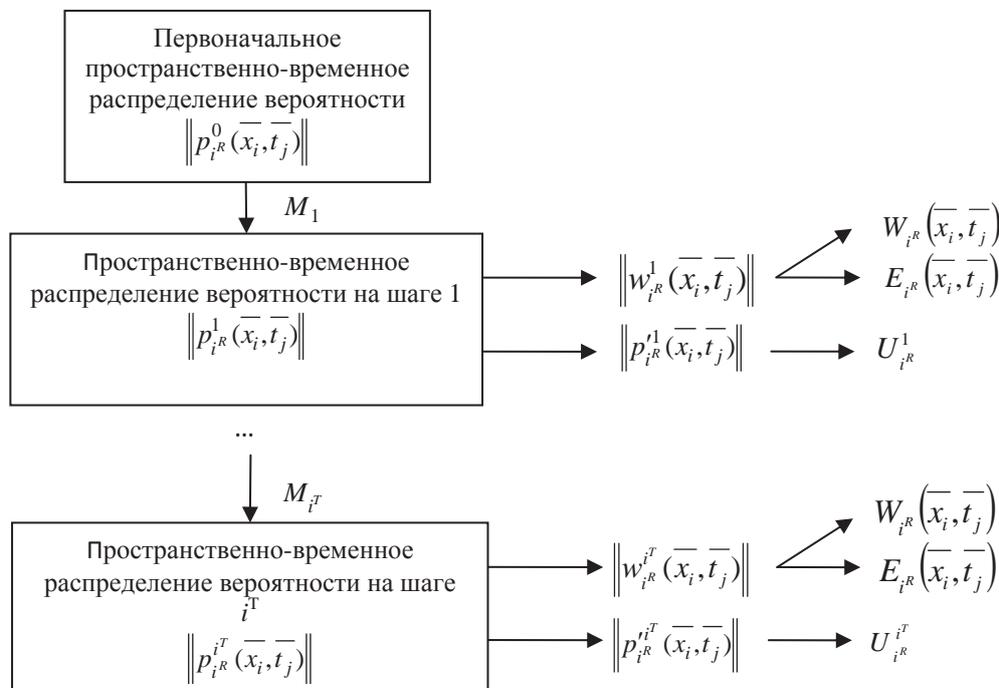


Рис. 3. Функциональная схема методики оценки риска

Fig. 3. Functional diagram of the technique for risk assessment

$$r_U = \frac{U_{i^R}^{i^T}}{\max(U_{i^R}^{i^T})},$$

где $\max(U_{i^R}^{i^T})$ – максимально возможное значение рископонижающего потенциала при проведении мероприятия на альтернативном участке ЛЧ МН.

Функциональная схема методики оценки риска, согласно которой осуществляется переоценка распределения вероятностей, величины риска, а также других интегральных количественных показателей, представлена на рис. 3.

Методика управления величиной риска ФБ

Цикл управления величиной риска T_M совпадает с промежутками времени между контрольными мероприятиями. Отчетные и плановые документы процесса управления рисками формируются до и после проведения контрольных мероприятий соответственно. Перед проведением мероприятия происходит мониторинг рисков, их оценка и планирование с учетом значения величины риска. Воздействие на величину риска осуществляется при проведении контрольных мероприятий.

Жизненный цикл процесса управления представим в виде четырехступенчатого алгоритма:

1) определяется тип проводимого мероприятия k_{i^M} ;

По формуле (3) устанавливается протяженность планируемого мероприятия Δx для всех участков ЛЧ МН, где мероприятие m_{i^M} может быть проведено:

$$\Delta x = \frac{t_s(V \cdot V_{i^M}) - 2V_{i^M}(S_M - S_B)}{V - V_{i^M}}, \quad (3)$$

где Δx – протяженность контрольного мероприятия; S_M – место проведения контрольного мероприятия на ЛЧ МН; S_B – место расположения охранного подразделения; V – скорость перемещения охранного подразделения к месту проведения мероприятия; V_{i^M} – скорость проведения контрольного мероприятия типа i^M ; t_s – общее время, выделенное для проведения контрольного мероприятия.

На рис. 4 представлена типовая схема проведения контрольного мероприятия, состоящая из трех этапов – перемещение к месту проведения мероприятия, проведение контрольного мероприятия и возвращение к месту дислокации охранного подразделения.

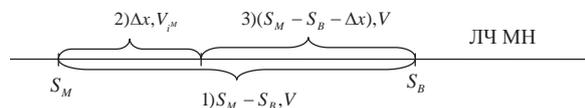


Рис. 4. Типовая схема проведения контрольного мероприятия

Fig. 4. Typical circuit of control activity

- 2) определяется значение показателя r_U для всех участков ЛЧ МН, где мероприятие m_{i^M} может быть проведено;
- 3) определяется множество мест для проведения контрольного мероприятия $\{m_{i^M}^1\}$, где $r_U=1$;
- 4) случайным образом из множества $\{m_{i^M}^1\}$ определяется место для проведения контрольного мероприятия m_{i^M} .

Адаптация модели

Коррекция исходных данных модели осуществляется после получения информации о совершенных актах незаконного вмешательства, а также результатах проведения проверочных мероприятий по их имитации. В результате анализа полученных данных пересматриваются коэффициенты мероприятий $\sigma_{k_{i^M}}$, способствовавших выявлению или не выявлению актов незаконного вмешательства. Таким образом, процесс адаптации базируется на анализе множества проведенных мероприятий $M^* = \{m_{i^M}(t), k_{i^M}\}$ и сведениях о реальном либо проверочном акте незаконно вмешательстве A^* .

Если акт совершен в момент времени T^* в точке ЛЧ МН X^* , т. е. $A^* = (X^*, T^*)$, тогда мы получаем такое распределение $\|p_{i^*}^*(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$, где $p_{i^*}(X^*, T^*)=1$, для остальных элементов матрицы $p_{i^*}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)=0$. Если точное время T^* не известно, а известен промежуток времени \bar{t}^* , в течение которого был произведен акт незаконного вмешательства, тогда его вероятность равномерно распределяется с учетом правила нормировки $p_{i^*}(X^*, \bar{t}_j)=1$, где $\bar{t}_j \in \bar{t}^*$.

Перед процедурой пересмотра всех параметров модели мы определяем множество мероприятий, проведенных в точке X^* ЛЧ МН $M^* = \{m_{i^M}(t), k_{i^M}\}$, где $m_{i^M}(t) \cap X^*$. При необходимости пересматривается $k_{i^M} \in (0, 1)$ для всех k_{i^M} , коэффициенты ξ_i, ρ_i, q_{ab} , характеризующие уязвимость в точке X^* , а также ему подобных участков ЛЧ МН. Производится сравнение результирующего значения шаге $\|p_{i^*}^*(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$ и значения распределения на предыдущем шаге $\|p_{i^*}^{s-1}(\bar{x}_i, \bar{t}_j)\|$.

Отметим также, что после выявления реального акта незаконного вмешательства цикл управления заканчивается, происходит переход к новому периоду T_λ .

Апробация методики управления

В качестве примера рассмотрим результаты применения предлагаемой методики для управления величиной риска ФБ одного из МН, пролегающего на территории Томской области. При этом будем использовать следующие входные параметры:

- λ – 1 инцидент/год, $t_{нач}$ – 01.01.2014, $t_{кон}$ – 31.12.2014;
 - S – участок МН «Александровское–Анжеро-Судженск» длиной 100 км ($x_{нач}=0,0$; $x_{кон}=100,0$ км);
 - $M = \{m_{i^M}(t), k_{i^M}\}$ – данные о мероприятиях, проведенных сотрудниками филиала ООО «Транснефть-Охрана» Центрально-Сибирское межрегиональное управление ведомственной охраны с 01.01.2014 по 31.12.2014.
- В качестве внутренних параметров определим:
- $c_{i^M} = 30$ млн р.;
 - обследование на автомобиле $k=0,3$; пешее обследование $k=0,4$; обследование подъездных путей к МН $k=0,1$ и пр.;
 - $h_t = 1$ мин и $h_x = 100$ м;
 - $\xi_i = 1$.

Апробацию методики управления будем осуществлять путем сравнения количественных показателей эффективности для реальных и моделируемых данных. Моделирование будет заключаться в подборе участка ЛЧ МН для проведения контрольного мероприятия в соответствии с методикой управления величиной риска физической безопасности. Тип мероприятия и время его проведения не будут изменяться, новое место проведения будет подбираться с максимальной приближенностью к реальным данным о месте проведения мероприятия.

На рис. 5 данные о фактически проведенных мероприятиях представлены в виде отрезков, характеризующих время и место их проведения. Ось абсцисс отражает место проведения контрольных мероприятий (участок ЛЧ МН), ось ординат отражает время их проведения.

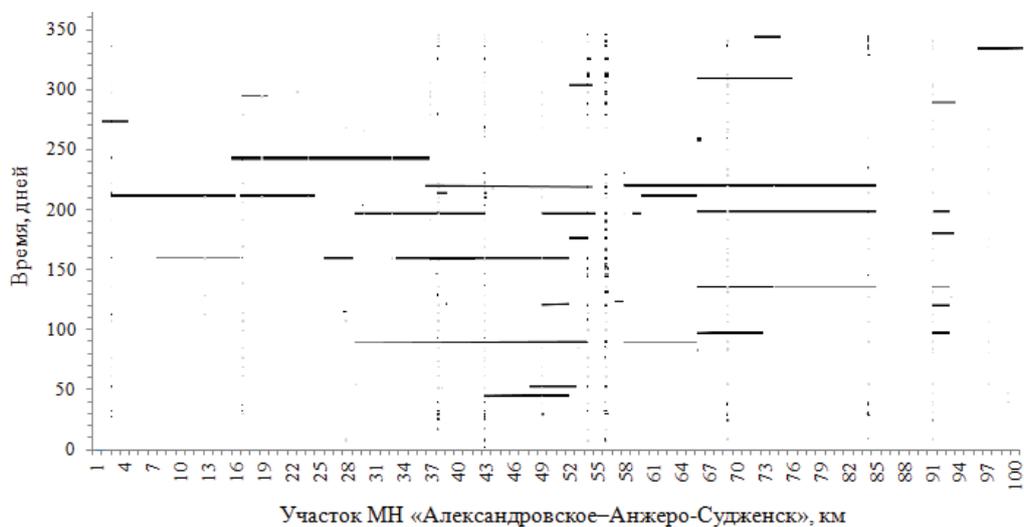


Рис. 5. Фактические данные о проведенных мероприятиях

Fig. 5. Real data on the activities

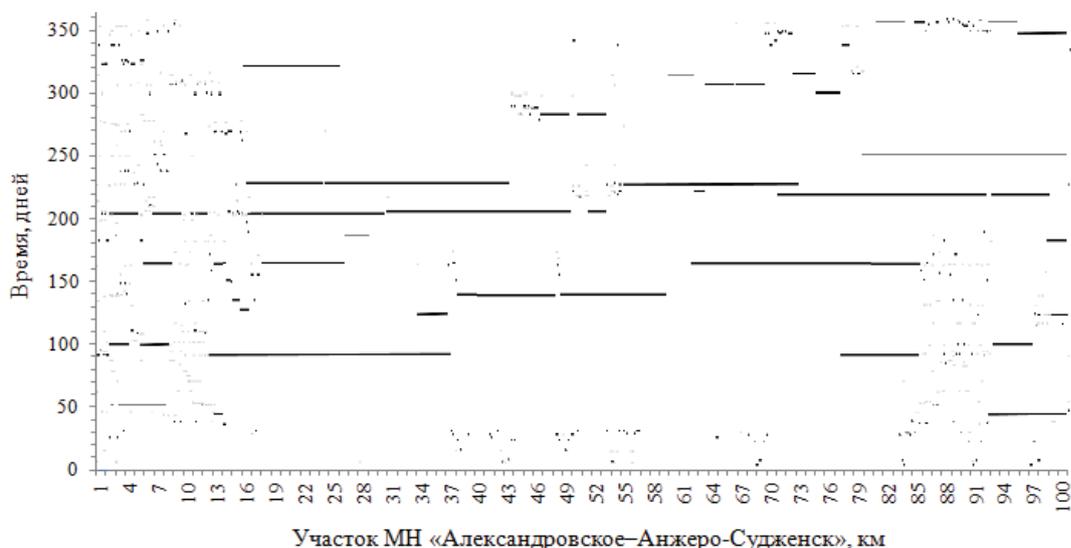


Рис. 6. Смоделированные данные о проведенных мероприятиях

Fig. 6. Modeled data on the activities

На рис. 6 представлены данные, смоделированные с помощью методики управления рисками ФБ.

Из сравнения рис. 5 и 6 видно, что на первом из них присутствуют параллельные отрезки, т. е. повторяющиеся участки проведения контрольных мероприятий, а также пустые области графика, которые показывают участки ЛЧ МН, где мероприятия не проводились. На рис. 5 такие отрезки отсутствуют, а места проведения мероприятий распределены более равномерно по участкам ЛЧ МН.

Оценку эффективности методики управления данными будем осуществлять путем сравнения значений рискоснижающего потенциала U_p^r для фактических и смоделированных с использованием методики мероприятий. Значение рискоснижающего потенциала отображает монетарное значение

эффективности контрольных мероприятий, которое учитывает различную опасность участков ЛЧ МН, различную степень эффективности разных типов контрольных мероприятий, частоту проведения контрольных мероприятий на различных участках ЛЧ МН.

Графики распределения значения $U_{\text{р}}^{\text{г}}$ по участкам ЛЧ МН и по времени для фактических и смоделированных мероприятий представлены на рис. 7, 8.

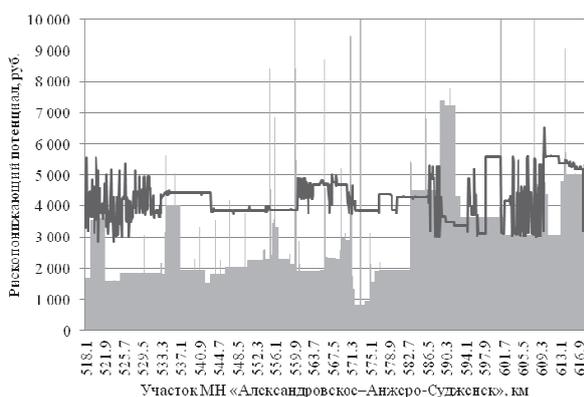


Рис. 7. Распределение величины рископонижающего потенциала по участкам ЛЧ МН

Fig. 7. Distribution of the risk-reducing potential value in the areas of the LP MP

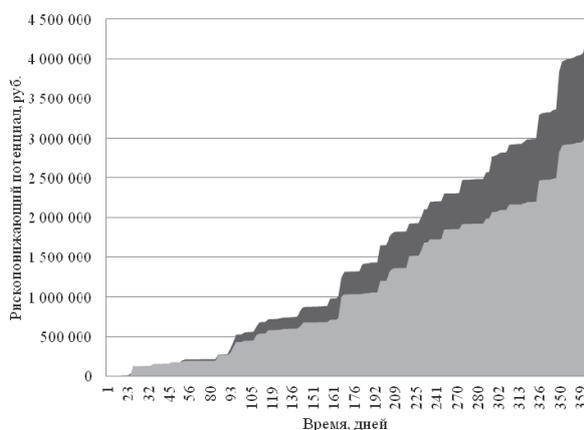


Рис. 8. Распределение величины рископонижающего потенциала по времени

Fig. 8. Time distribution of the risk-reducing potential value

В результате сравнения графиков установлено, что общий уровень недополученного рископонижающего потенциала составил 1 млн 169 тыс. р., а среднее значение r_v для данных о фактических мероприятиях – 0,74. Таким образом, основной показатель эффективности снижения значения риска находится на уровне 74 %, и, соответственно, может быть повышен при использовании разработанной методики управления на 26 %. Увеличение рископонижающего потенциала было достигнуто за счет обеспечения более равномерного распределения контрольных мероприятий по участкам ЛЧ МН, снижения влияния «человеческого фактора»

при планировании мероприятий и увеличения таким образом равнозащищенности ЛЧ МН и равномерности распределения ресурсов на обеспечение охраны ЛЧ МН.

Оценку эффективности методики управления также можно осуществить путем сравнения уровня риска $E_{\text{р}}$ для фактических и смоделированных данных, рассчитанного с помощью методики оценки риска [5]. Для этого на рис. 9, 10 были построены графики $E_{\text{р}}$ с помощью графопостроителя «contourf» пакета Matlab, в котором топология поверхности массивов $E_{\text{р}}$ в трехмерном пространстве изображается в виде цветового набора двумерных линий постоянного уровня. При этом наглядную информацию об изменении функции дает заливка прямоугольника на плоскости XY (участок ЛЧ МН-время) цветом, зависящим от значения функции в точках плоскости (значения уровня риска). Красные области графика плоскости соответствуют областям с наибольшим значением уровня риска и выделяют наиболее опасные места (во времени для участка ЛЧ МН). Синие участки выделяют наименее опасные места, где за счет информации, полученной в ходе проведения контрольных мероприятий, вероятность появления рисковогго события была уменьшена.

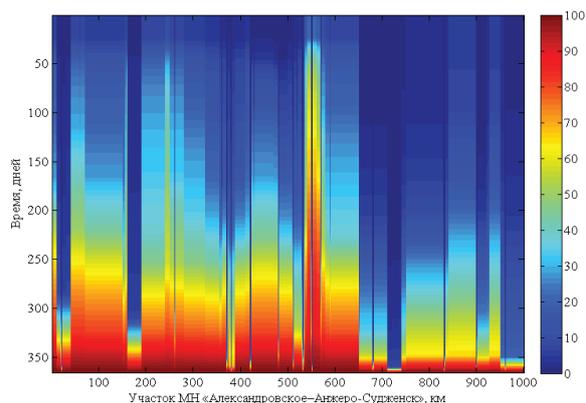


Рис. 9. Фактическое распределение уровня риска ФБ

Fig. 9. Real distribution of the PS risk level

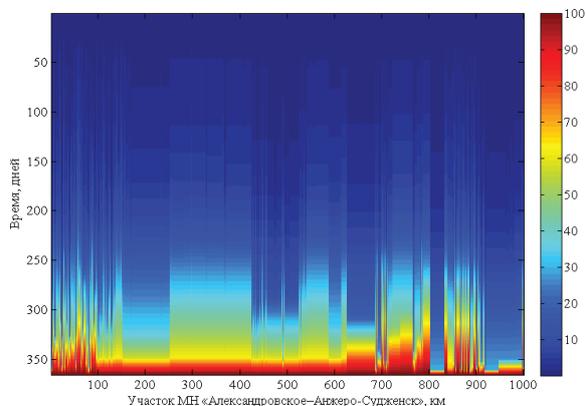


Рис. 10. Модель распределения уровня риска ФБ

Fig. 10. Model of the PS risk level distribution

Графики, представленные на рис. 9 и 10, позволяют подтвердить предположение о более равномерном распределении ресурсов на обеспечение охраны ЛЧ МН с использованием разработанной методики управления, поскольку наглядно позволяют сравнить распределение уровня риска для фактических и смоделированных данных.

Предложенные выше модель и методика проходят апробацию и внедрение в АО «Транснефть – Центральная Сибирь» в виде автоматизированной системы (АС) поддержки принятия решений при планировании мероприятий по охране ЛЧ МН. Среди специализированных АС схожей направленности можно выделить разработки зарубежных компаний по управлению рисками эксплуатации МН [24–26].

АС реализована в соответствии с принципами двухуровневой сетевой архитектуры, где в качестве сервера выступает система управления базами данных (БД) Microsoft SQL Server 2008, а клиентская часть представлена в виде исполняемого приложения, разработанного в среде Microsoft Visual Studio на языке программирования С#. Основная часть алгоритмов работы АС и, в частности, предложенная выше модель и методика управления реализована на уровне БД с использованием языка программирования Transact-SQL.

Выводы

Приведено описание методики управления величиной риска ФБ для пространственно-протяженных объектов типа ЛЧ МН, разработанной на основе методик по управлению эксплуатационными рисками магистральных нефте- и газопроводов [10–12]. Методика предполагает проведение контрольных мероприятий на тех участках МН, где

значение рискоснижающего потенциала наиболее велико, и позволяет создать динамическую, самосогласованную систему управления процессом охраны ЛЧ МН. Данная система основана на структурной математической модели, реализующей принципы ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство». Описана формализованная процедура динамической адаптации параметров математической модели в ходе поступления информации о совершенных актах незаконного вмешательства, а также результатах проведения проверочных мероприятий по их имитации.

Указанная методика дополняется способом распределения ресурсов, трудовых, финансовых и др., между несколькими подразделениями, осуществляющими охрану одного МН. Способ основан на анализе данных о первоначальном пространственно-временном распределении вероятности совершения акта незаконного вмешательства.

Для оценки эффективности разработанной методики и модели произведен расчет и сравнение выходных параметров рискоснижающего потенциала и уровня риска для фактических и смоделированных мероприятий на произвольном участке МН «Александровское–Анжеро-Судженск» длиной 100 км. При этом показано, что величина рискоснижающего потенциала мероприятий могла быть увеличена на 1 млн 169 тыс. руб., а рассчитанная таким образом эффективность процесса управления могла быть повышена на 26 %. Увеличение рискоснижающего потенциала было достигнуто за счет более равномерного распределения контрольных мероприятий по участкам ЛЧ МН, что позволило более эффективно распределить имеющиеся ресурсы на обеспечение безопасности ЛЧ МН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» // Российская газета – издание Правительства Российской Федерации, официальный публикатор документов. 2011. URL: <http://www.rg.ru/2011/07/26/tek-dok.html> (дата обращения: 28.01.2015).
2. Кононов А.А., Стиславский А.Б., Цыгичко В.Н. Управление рисками нарушения транспортной безопасности. – М.: АС-Траст, 2008. – 210 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000–2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.
4. Кукало И.А., Кшнянкин А.П., Гривцов С.Н. Модель угроз системы физической защиты линейной части магистрального нефтепровода // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 5. – С. 37–41.
5. Кукало И.А., Гривцов С.Н. Оценка рисков физической безопасности линейной части магистрального нефтепровода // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 5. – С. 30–42.
6. Оценка рисков в иерархических структурах критически важных объектов / А.А. Кононов, К.В. Черныш, Д.С. Гуревич, А.К. Поликарпов // Труды ИСА РАН / под ред. Д.С. Черешкина. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – Т. 52. – С. 5–15.
7. D’Atri M.F., Rodríguez D., Garcia-Martinez R. Improving pipeline risk models by using data mining techniques // 24th World Gas Conference. – Buenos Aires, 2009. URL: <http://sistemas.unla.edu.ar/sistemas/gisi/papers/24th-WGC-Paper-663.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).
8. Selva R., Eng C., Mech F.I. Risk Based Inspection (RBI) Best Practice: The Technical Specification for Ensuring Successful Implementation // 13th International Conference on Pressure Vessel & Piping Technology. – London, 2012. URL: http://www.ppsimtech.com/downloads/risk_based_inspection_best_practice-the_technical_specification_ron_selva_pp_simtech_keynote_paper_1_13th_icpvt_2012_london.pdf (дата обращения: 28.01.2015).
9. Selvik J.T., Scarf P., Aven T. An extended methodology for risk based inspection planning // Reliability: Theory & Applications. – 2011. – № 20. URL: http://gnedenko-forum.org/Journal/2011/012011/RTA_1_2011-12.pdf (дата обращения: 28.01.2015).
10. Лисанов М.В., Савина А.В. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 1. – С. 50–56.
11. Иванов В.И., Панчиков В.Н. Техническое диагностирование и оценка риска аварии в нефтегазовой отрасли // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 1. – С. 68–71.
12. Газпром «ВНИИГАЗ». Применение анализа риска в управлении техническим состоянием и целостностью линейной части магистральных газопроводов. URL: http://riskprom.ru/_ld/2/270_._._.pdf (дата обращения: 28.01.2015).

13. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.
14. ОР-13.310.00-КТН-032–15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Руководство по организации охраны объектов и линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов ОАО «АК «Транснефть». – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2015. – 203 с.
15. Информация о работе подразделений безопасности ОАО «АК «Транснефть» проводимой в целях противодействия преступным посягательствам на линейную часть магистральных трубопроводов. URL: <http://www.transneft.ru/files/2013-01/sgBHMOLZn5fcvai.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).
16. Методологические основы прогнозирования научно-технологического развития России до 2030 г. с использованием критериев стратегических рисков. Координационный совет РАН по прогнозированию. URL: <https://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=4e42ec47-32bb-44ba-abe8-7f2cd63de687> (дата обращения: 28.01.2015).
17. Дуброва Т.А. Статистические метод прогнозирования. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 206 с.
18. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
19. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью: методические рекомендации / науч. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГФ «Знание», 2008. – 672 с.
20. СТО Газпром 2–2.3–351–2009. Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром». – М.: ОАО «Газпром», 2009. – 380 с.
21. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО «Газпром». – М.: ОАО «Газпром», 2007. – 118 с.
22. Блинов И.Г., Валушок А.В., Старочкин А.В. К вопросу об уточнении степени коррозионной опасности участков магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – № 2 (14). – С. 58–61.
23. Савина А.В., Сумской С.И., Лисанов М.В. Анализ риска аварий на магистральных трубопроводах при обосновании минимальных безопасных расстояний // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 3. – С. 58–63.
24. The Synergi Pipeline software. URL: <https://www.dnvgl.com/services/pipeline-integrity-management-synergi-pipeline-1363> (дата обращения: 28.01.2015).
25. Pipeline Risk Controller Version 2.0 for Windows. URL: <http://www.gulfpub.com/product.asp?ProductID=2428> (дата обращения: 28.01.2015).
26. The Multi-Analytic Risk Visualization. URL: http://www.dnv.com/moreondnv/research_innovation/programmes/materials/sensors/marv.asp (дата обращения: 28.01.2015).

Поступила 11.03.2015 г.

UDC 004.492.2

RISK MANAGEMENT OF PHYSICAL SAFETY OF THE MAIN OIL PIPELINE LINEAR PART

Ivan A. Kukalo,

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
40, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: i@kukalo.ru

Sergey N. Grivtsov,

JSC «Transneft – Central Siberia», 24, Naberezhnaya Ushayki street, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: GrivtsovSN@tom.transneft.ru

Relevance of the work is caused by the need to improve the efficiency of the physical protection system of linear part of the main oil pipeline (LCh MN) from committing acts of unlawful interference, in particular from 2003 to 2012, 4779 facts of unauthorized connection to the linear part of the main oil pipeline were revealed at the facilities of OJSC «Transneft».

The main aim of the study is to develop a mathematical model for risk management of physical safety for the linear part of the main oil pipeline, implementing the principles of GOST R ISO/IEC 31000–2010.

The methods used in the study: matrix and linear analysis, statistical analysis of the distribution of risk events, methods of ranking, statistical hypothesis testing.

Results. The authors have developed the method of controlling the amount of physical safety risk for spatially extended objects such as the linear part of the main oil pipeline. The paper introduces the structural mathematical model that realizes physical safety risk management in accordance with the principles of GOST R ISO/IEC 31000–2010. On this basis, we consider the method of resource allocation in time and parts of the linear part of the main oil pipeline between several units, ensuring the protection of a single main oil pipeline. The paper describes the procedure of dynamic adaptation of the mathematical model parameters at entry of data on committed acts of unlawful interference, as well as the results of the verification activities in their simulation. The authors analyzed the spatial and temporal distribution of the physical safety risk and the potential to reduce the risk of the 100 km area of the «Aleksandrovsky–Anzhero-Sudzhensk» linear part of the main oil pipeline and compared the potential to reduce risk of the actual control measures and the measures proposed to conduct when using the developed management technique. The paper shows the increase of the risk-reduce potential by 1 million 169 thousand rubles and demonstrates the compliance management efficiency by 26 % by providing more uniform distribution of control measures on sections of the linear part of the main oil pipeline.

Key words:

Oil pipeline linear part, risk assessment, risk management of physical security, spatio-temporal risks distribution, risk reduction potential.

REFERENCES

1. *Federalnyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 21 iyulya 2011 g. № 256-FZ «O bezopasnosti obektov toplivno-energeticheskogo kompleksa»* [Federal Law of 21 July 2011 № 256-FZ «On the safety of the fuel and energy complex»]. Available at: <http://www.rg.ru/2011/07/26/tek-dok.html> (accessed 28 January 2015).
2. Kononov A.A. *Upravlenie riskami narusheniya transportnoy bezopasnosti* [Risk management violations of transport safety]. Moscow, AS-Trast Publ., 2008. 210 p.
3. *GOST R ISO/MEK 31000-2010. Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo* [State Standard 31000-2010. Risk management. Principles and Guidelines on Implementation]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 28 p.
4. Kukalo I.A., Kshnyankin A.P., Grivtsov S.N. Model ugroz sistemy fizicheskoy zashchity lineynoy chasti magistralnogo nefteprovoda [Model of physical protection system threat in the main oil pipeline]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 5, pp. 37-41.
5. Kukalo I.A., Grivtsov S.N. Otsenka riskov fizicheskoy bezopasnosti lineynoy chasti magistralnogo nefteprovoda [Risk assessment of physical safety of the main oil pipeline linear part]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 5, pp. 30-42.
6. Kononov A.A., Chernysh K.V., Gurevich D.S., Polikarpov A.K. Otsenka riskov v ierarkhicheskikh strukturakh kriticheski vazhnykh obektov [Risk assessment in hierarchical structures of critical facilities]. *Trudy ISA RAN*, 2010, no. 52, pp. 5-15.
7. D'Atri M. F., Rodriguez D., Garcia-Martinez R. Improving pipeline risk models by using data mining techniques. *Proc. 24th World Gas Conference*. Buenos Aires, 2009. Available at: <http://sistemas.unla.edu.ar/sistemas/gisi/papers/24th-WGC-Paper-663.pdf> (accessed 28 January 2015).
8. Selva R., Eng C., Mech F.I. Risk Based Inspection (RBI) Best Practice: The Technical Specification for Ensuring Successful Implementation. *Proc. 13th International Conference on Pressure Vessel & Piping Technology*. London, 2012. Available at: http://www.ppsimtech.com/downloads/risk_based_inspection_best_practice-the_technical_specification_ron_selva_pp_simtech_keynote_paper-1_13th_icpvt_2012_london.pdf (accessed 28 January 2015).
9. Selvik J.T., Scarf P., Aven T. An extended methodology for risk based inspection planning. *Reliability: Theory & Applications*, 2011, no. 20. Available at: http://gnedenko-forum.org/Journal/2011/012011/RTA_1_2011-12.pdf (accessed 28 January 2015).
10. Lisanov M.V., Savina A.V. Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke stepeni riska avarii na magistralnykh nefteprovodakh i nefteproduktprovodakh [Methodological guidance on assessing the risk of accidents on the trunk pipeline network]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2013, no. 1, pp. 50-56.
11. Ivanov V.I., Panchikov V.N. Tekhnicheskoe diagnostirovanie i otsenka riska avarii v neftegazovoy otrasli [Technical diagnosis and assessment of risk of accident in oil and gas industry]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2012, no. 1, pp. 68-71.
12. *Gazprom «VNIIGAZ». Primenenie analiza riska v upravlenii tekhnicheskimi sostoyaniem i tselostnostyu lineynoy chasti magistralnykh gazoprovodov* [Gazprom «VNIIGAZ». Application of risk analysis in management of technical condition and integrity of the linear part of main gas pipelines]. Available at: http://riskprom.ru/_ld/2/270_..._.pdf (accessed 28 January 2015).
13. Repin V.V., Eliferyov V.G. *Protessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protessov* [Process approach to management. Business Process Modeling]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2013. 544 p.
14. *OR-13.310.00-KTN-032-15. Magistralny truboprovodny transport nefti i nefteproduktov. Rukovodstvo po organizatsii okhrany obektov i lineynoy chasti magistralnykh nefteprovodov i nefteproduktprovodov OJSC «Transneft»* [Industry regulations OR-13.310.00-KTN-032-15. Trunk pipeline transportation of crude oil and petroleum products. Guidelines for the organization and protection of the linear part of the main oil and product pipelines of OJSC «Transneft»]. Moscow, OJSC «Transneft», 2015. 203 p.
15. *Informatsiya o rabote podrazdeleniy bezopasnosti OJSC «Transneft» provodimoy v tselyakh protivodeystviya prestupnym posyagatelstvam na lineynuyu chast magistralnykh truboprovodov* [Information on the work of security units of OJSC «Transneft» conducted in order to counter criminal attacks on the linear part of the main pipelines]. Available at: <http://www.transneft.ru/files/2013-01/sgBHMOLZn5fcvai.pdf> (accessed 28 January 2015).
16. Metodologicheskie osnovy prognozirovaniya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossii do 2030 g. s ispolzovaniem kriteriev strategicheskikh riskov [Methodological bases of forecasting scientific and technological development of Russia until 2030, using the criteria of strategic risks]. *Koordinatsionny sovet RAN po prognozirovaniyu* [Coordination Council of Russian Academy of Sciences Forecasting]. Available at: <https://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=4e42ec47-32bb-44ba-a6e8-7f2cd63de687> (accessed 28 January 2015).
17. Dubrova T.A. *Statisticheskie metod prognozirovaniya* [Statistical forecasting methods]. Moscow, YUNITI-DANA Publ., 2003. 206 p.
18. Greshilov A.A., Stakun V.A., Stakun A.A. *Matematicheskie metody postroeniya prognozov* [Mathematical forecasting methods]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1997. 112 p.
19. Prolov K.V. *Bezopasnost Rossii. Pravovye, sotsialno-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskije aspekty. Analiz riskov i upravlenie bezopasnostyu: metodicheskie rekomendatsii* [Russia's security. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Risk analysis and safety management: guidelines]. Moscow, MGOF «Znanie» Publ., 2008. 672 p.
20. *STO Gazprom 2-2.3-351-2009. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska dlya opasnykh proizvodstvennykh obektov gazotransportnykh predpriyatiy OAO «Gazprom»* [Gazprom organization standard 2-2.3-351-2009. Methodological guidelines for risk analysis for hazardous production facilities of gas transmission companies of OJSC «Gazprom»]. Moscow, OJSC «Gazprom», 2015. 380 p.
21. *Rekomendatsii po uchetu vliyaniya tekhniko-tekhnologicheskikh, prirodno-klimaticheskikh i drugikh faktorov pri prognozirovanii avariynosti na MG OAO «Gazprom»* [Recommendations for the calculation of the influence of technical and technological, natural climatic and other factors in the prediction of accidents on main pipelines of OJSC «Gazprom»]. Moscow, OJSC «Gazprom», 2007. 118 p.
22. Blinov I.G., Valyushok A.V., Starochkin A.V. K voprosu ob utochenii stepeni korrozionnoy opasnosti uchastkov magistralnykh nefte- i nefteproduktprovodov [The issue of improving the degree of corrosion hazard for areas of the main oil pipelines]. *Oil and Oil Products Pipeline Transportation: Science & Technology*, 2014, no. 2 (14), pp. 58-61.
23. Savina A.V., Sumskey S.I., Lisanov M.V. Analiz riska avarii na magistralnykh truboprovodakh pri obosnovanii minimalnykh bezopasnykh rasstoyaniy [Analysis of the risk of accidents on main pipelines in justification of minimum safety distances]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, 2012, no. 3, pp. 58-63.
24. *The Synergi Pipeline software*. Available at: <https://www.dnvgl.com/services/pipeline-integrity-management-synergi-pipeline-1363> (accessed 28 January 2015).
25. *Pipeline Risk Controller Version 2.0 for Windows*. Available at: <http://www.gulfpub.com/product.asp?ProductID=2428> (accessed 28 January 2015).
26. *The Multi-Analytic Risk Visualization*. Available at: http://www.dnv.com/moreondnv/research_innovation/programmes/materials/sensors/marv.asp (accessed 28 January 2015).

Received: 11 March 2015.