

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ

Н.С. Корольков

nikkrkv1995@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Рассмотрена схема расчета возможных рисков, связанных с различными несанкционированными действиями на критически важных опасных производственных объектах. Представлен анализ основных методов расчета. Сделан вывод о том, какие объекты системы подвержены наибольшей опасности. В качестве объекта исследования выбран магистральный трубопровод и опасные производственные объекты, прилегающие к нему.*

### Ключевые слова

*Оценка рисков чрезвычайных ситуаций, магистральный трубопровод, несанкционированные действия*

Поступила в редакцию 16.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

---

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в связи с активизацией несанкционированной деятельности, в последние годы и возрастающей в этой связи необходимостью стабильной работы критически важных объектов необходимо проведение мероприятий, повышающих защищенность таких производственных объектов. Отметим, что при реализации подобных мероприятий необходим анализ риска возможных противозаконных действий на рассматриваемом объекте. При наличии большого количества объектов, подверженных опасности, необходимо понимать, каким образом определять максимально опасные места в системе.

Как известно риск — это мера опасности, которая сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и объем этого события (потери, ущерб, убытки). Выстраивая комбинацию этих элементарных событий и выбирая решающее правило, субъект, в ведении которого находится рассматриваемый объект, может оценить меру опасности и принять решение о необходимости тех или иных действий.

В настоящее время методики оценки риска аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера оценивают риск как событие только через вероятностную меру его появления, полученную на основании статистических наблюдений [1]. Однако на практике наиболее частой является ситуация, когда случается значительный ущерб вероятностью «почти нуль» (то есть ущерб велик), при этом вероятность рискованного события исчезающе мала, что характерно для ряда катастроф с высоконадежными системами. В качестве примера рассмотрим методологический подход оценки риска несанкционированных действий на магистральном нефтепроводе, также относящемся к группе критически важных объектов [2].

Несанкционированных действия на опасных производственных объектах, в том числе на магистральных трубопроводах, также можно отнести к событиям риск появления, которых нельзя оценивать через статистическую вероятностную меру [3–7]. Поскольку вероятность проведения противозаконных актов на участке магистрального трубопровода крайне мала, а ущерб, который может быть причинен в результате таких действий, велик.

Предположим, что трубопроводный транспорт является высоконадежной системой. Тогда риск  $R_i$  проведения акта на магистральном трубопроводе будем рассматривать как системную ошибку, скрытую в системе «защита магистрального трубопровода от угроз несанкционированного характера» реализация, которой может привести к разрушению трубопровода и причинению значительного ущерба.

Предлагается определять системную ошибку с помощью моделей рискованных процессов в форме цепей дискретных случайных событий. Использование подобных цепей отражает метод сценарного анализа. При этом размерность причинно-факторного пространства принципиально не имеет значения, тогда уравнение системной ошибки «реализация противозаконного акта» можно записать без использования вероятностей [3–7].

Обозначим участок  $L_i$  магистрального трубопровода как систему  $S_i$  с возможной реализацией противозаконного акта, которая представляется в виде множества элементов  $q_i \in Q$ , соединенных на основе графа смены состояний  $G$ . Запишем

$$S_i = \{n_i \in Q \mid G, \xi \in \Omega_\xi, T, \Sigma_0\}, G = (G, \Gamma Q), \quad (1)$$

где  $Q = \{n_i \mid I = 1, n\}$  — пространство дискретных состояний системы;  $\Gamma Q$  — отображение  $Q \rightarrow Q$ ;  $\Sigma$  — условия определяющие реализацию незаконного акта на  $L_i$  участке магистрального трубопровода (достижение максимального ущерба, защищенность участка магистрального трубопровода, рельеф местности, территориальное расположение трубопровода, климатические условия, состояние трубопровода, количество ниток, время года, способ прокладки трубопровода (подземный, надземный, надводный, подводный и др.);  $\xi$  — фактор случайности процесса смены состояний системы  $S_i$ ;  $\Omega_\xi$  — пространство возможных исходов;  $T$  — интервал наблюдения процесса смены состояний в системе  $S_i$ ;  $\Sigma_0$  — условия определяющие состояние системы  $S_i$  магистрального трубопровода на момент развертывания цепочки реализации акта  $J_i$  с момента времени  $t = t_0$ ,  $\Sigma_0 = \{\varphi k \mid n_0, t_0\}$ . Здесь  $\varphi, k$  — функции влияния различных факторов на опасность несанкционированных действий, в зависимости от их состояния и расположения,  $\varphi, k = 1, 2, \dots$ ;  $n_0 = n_{0i}$  — начальное состояние цепочки событий;  $i$  — номер состояния системы  $S_i$  из множества возможных состояний  $Q$ .

Неопределенность реализации несанкционированных действий, может быть выражена как некоторая блуждающая точка  $\pi = (n_{i1} \mid n_{j1}, n_0)$  на графе  $G$  из начального состояния  $n_0 \equiv n_i$ , которая дает множество различных альтернативных путей развертывания цепочки событий  $J_i = \{n_{ik} \mid n_0 = n_{i0}, i_k = i_0, i_1, \dots\}$ , включа-

ющий способ реализации несанкционированных действий или диверсии и пути их достижения, завершающихся в конечном состоянии  $q_{гk}$ , совершения акта или диверсии;  $i$  — номер цепи из множества возможных цепей  $N_{г}$  [4–8]. Таким образом, формализуя изложенную задачу с помощью цепочек  $J_i$ , можно определить риск совершения действия на  $i$  участке магистрального трубопровода.

Далее рассмотрим участок магистрального трубопровода и применим вышеизложенный подход к определению риска противозаконного акта на рассматриваемом трубопроводе.

Выделим факторы, характеризующие рассматриваемый трубопровод (группа 1) и факторы, характеризующие несанкционированные действия, усиливающие ущерб от диверсии (группа 2).

**Группа 1:**

- 1) протяженность;
- 2) количество ниток — 6–7;
- 3) составляющие части и устройство трубопровода — линейная часть длиной 1570 км, 368 задвижек, 11 перекачивающих станций, три нефтеперерабатывающих завода, два из которых находятся в крупных населенных пунктах;
- 4) общее состояние объекта (износ) — 15 %.

**Группа 2:**

- 1) способ прокладки трубопровода — надземный;
- 2) степень защищенности — линейная часть и задвижки не охраняются, перекачивающие станции и нефтеперерабатывающие заводы охраняются;
- 3) рельеф местности — равнинный;
- 4) пересечение с газовыми и другими магистралями продуктопроводов — нефтепровод пересекает шесть газовых магистралей, имеющих одну или три нитки;
- 5) территориальное расположение;
- 6) наличие нефтеперерабатывающих заводов и насосных станций в населенных пунктах;
- 7) пересечение с водными объектами — нефтепровод пересекает восемь рек, три из которых являются объектами рыбохозяйственного значения.

Отметим также, что при оценке рисков необходимо учитывать и климатические факторы (группа 3), то есть время года.

Для оценки рисков несанкционированных действий на рассматриваемом нефтепроводе необходимо построить граф смены состояний системы, включающий возможные цепочки развития событий  $J_i$ , связанных с совершением противозаконных действий.

Ключевыми элементами каждой цепочки предлагаемого графа являются факторы  $\Delta_i$ , характеризующие магистральный трубопровод. Для проведения численной оценки рисков совершения акта на рассматриваемом участке трубопровода необходимо определить вероятность  $P_i \leq 1$  [3].

Присвоим каждому элементу графа определенный индекс:

- замысел действия —  $\Delta_1$ ;
- подрыв —  $\Delta_2$ ;

- механическое повреждение другими техническими средствами —  $\Delta_3$ ;
- закладка специальных устройств ускоряющих процессы коррозии —  $\Delta_4$ ;
- преднамеренный брак при проведении строительно-монтажных и ремонтных работ —  $\Delta_5$ ;
- умышленные ошибки обслуживающего персонала —  $\Delta_6$ ;
- линейная часть трубопровода —  $\Delta_7$ ;
- задвижки —  $\Delta_8$ ;
- насосная станция —  $\Delta_9$ ;
- нефтеперерабатывающий завод —  $\Delta_{10}$ ;
- протяженность линейной части —  $\Delta_{11}$ ;
- количество ниток трубопровода —  $\Delta_{12}$ ;
- степень износа оборудования —  $\Delta_{13}$ ;
- пересечение с водными объектами —  $\Delta_{14}$ ;
- пересечение с газовыми и другими магистралями —  $\Delta_{15}$ ;
- отсутствие защиты —  $\Delta_{16}$ ;
- надземная прокладка —  $\Delta_{17}$ ;
- летний период года —  $\Delta_{18}$ ;
- осенний период года —  $\Delta_{19}$ ;
- зимний период года —  $\Delta_{20}$ ;
- весенний период года —  $\Delta_{21}$ .
- исход  $J_i$ -й цепочки графа смены состояний системы магистрального трубопровода —  $R_i$ .

Также присвоим значения вероятностей  $P_{\Delta_i}$  каждому элементу графа  $\Delta_i$ . Далее проведем анализ  $J_i$ -х цепочек графа и определим вероятность  $PN_{\Sigma n}$  реализации  $n$ -го пути  $J_i$ -й цепочки совершения противозаконного действия по формуле:

$$PN_{\Sigma n} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_i), \quad (3)$$

где  $N$  — номер  $J_i$ -й цепочки;  $n$  — номер пути достижения конечного результата с исходом  $R_i$ . Затем определим вероятность реализации  $J_i$ -й цепочки графа, используя выражение:

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_i). \quad (4)$$

В ходе анализа получены значения вероятностей, представленные в таблице.

### Значения вероятности диверсии

Номер $n$ -го пути	Номер $J_i$ -й цепочки графа											
	$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$	$J_9$	$J_{10}$	$J_{11}$	$J_{12}$
$PN_{\Sigma 1}$	0,983	0,811	0,514	0,659	0,902	0,773	0,693	0,757	0,784	0,496	0,352	0,964
$PN_{\Sigma 2}$	0,986	0,874	0,676	0,773	0,935	0,848	0,795	0,838	0,856	0,664	0,568	0,788
$PN_{\Sigma 3}$	0,986	0,874	0,676	0,773	0,935	0,848	0,795	0,838	0,856	0,664	0,568	0,788
$PN_{\Sigma 4}$	0,983	0,811	0,514	0,659	0,902	0,773	0,693	0,757	0,784	0,664	0,352	0,964

Проведенный анализ цепочек графа показал, что с наибольшей вероятностью авария в результате противозаконных действий может произойти на линейной части магистрального трубопровода ( $P = 0,986$ ) и на нефтеперерабатывающем заводе ( $P = 0,964$ ) в результате умышленных ошибок обслуживающего персонала (нарушение технологического режима работы нефтеперерабатывающего завода). Поэтому необходимо, в первую очередь, применять меры по защите этих объектов, а также максимально точно предвидеть последствия и планировать меры устранения аварии. Существует множество методик расчета последствий. При этом наиболее популярные методы расчета ущерба от аварий и чрезвычайных ситуаций основаны на применении средних значений. Такие подходы нельзя применить в ряде случаев, когда распределение ущерба описывается степенным законом. Для оценки и прогноза редких и уникальных чрезвычайных ситуаций предлагается использовать метод расчета, основанный на анализе распределения Парето. Таким образом, используя методологический подход к оценке рисков чрезвычайных ситуаций на критически важных опасных производственных объектах в результате несанкционированных действий, а также правильно подобрав расчет последствий, можно минимизировать любые последствия незаконных действий, направленных на повреждение или разрушение критически важных объектов.

## Литература

- [1] Гражданкин А.И., Печеркин А.С. О влиянии «управления комплексным риском» на рост угроз техногенного характера. *Безопасность труда в промышленности*, 2004, № 3, с. 38–42.
- [2] Кузьмина М.С. Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, № 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/technic/1328.html>.
- [3] ГОСТ Р 51897–2011. *Менеджмент риска. Термины и определения*. Москва, Стандартинформ, 2012. 12 с.
- [4] ГОСТ Р ИСО 31000–2010. *Менеджмент риска. Принципы и руководство*. Москва, Стандартинформ, 2012. 21 с.
- [5] Козырев В.П., Юшманов С.В. Теория графов (алгоритмические, алгебраические и метрические проблемы). *Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика*, 1985, т. 23, с. 68–117.
- [6] Белов П.Г. *Управление рисками: системный анализ и моделирование*. Москва, Юрайт, 2014. 33 с.
- [7] Махутов Н.А., Таранов Р.А., Качанов С.А. Оптимизация мероприятий по повышению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов Российской Федерации и населения от угроз техногенного, природного характера и террористических проявлений. *Технологии гражданской безопасности*, 2010, т. 7, № 1–2, с. 83–88.

**Корольков Никита Сергеевич** — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Р.А. Таранов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING RISKS OF EMERGENCIES RESULTED FROM UNAUTHORIZED ACTIONS IN CRITICALLY IMPORTANT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES**

N.S. Korol'kov

nikkrkv1995@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The study examines a scheme for estimating possible risks associated with various unauthorized actions in critically important hazardous production facilities. We analyzed the main calculation methods and made the conclusion concerning the facilities which are mostly put at risk. As the subject of the research we chose the main pipeline and hazardous production facilities adjacent to it.*

**Keywords**

*Emergency risk assessment, main pipeline, unauthorized actions*

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

**References**

- [1] Grazhdankin A.I., Pecherkin A.S. On impact of complex risk management on growth of technogenic threats. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational Safety In Industry], 2004, no. 3, pp. 38–42.
- [2] Kuz'mina M.S. Methods of predicting a probability of damnification of human and material resources. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2014, no. 9. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/technic/1328.html>.
- [3] GOST R 51897–2011. Menedzhment riska. Terminy i opredeleniya. [State standard R 51897–2011. Risk management. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform publ., 2012. 12 p.
- [4] GOST R ISO 31000–2010. Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo [State standard R ISO 31000–2010. Risk management. Principles and guidelines]. Moscow, Standartinform publ., 2012. 21 p.
- [5] Kozyrev V.P., Yushmanov S.V. Graph theory (algorithmic, algebraic, and metric problems. *Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Teoreticheskaya kibernetika*, 1985, vol. 23, pp. 68–117. (Eng. version: *Journal of Soviet Mathematics*, 1987, vol. 39, no. 1, pp. 2476–2508.).
- [6] Belov P.G. Upravlenie riskami: sistemnyy analiz i modelirovanie [Risk management: system analysis and simulation]. Moscow, Yurayt publ., 2014. 33 p.
- [7] Makhutov N.A., Taranov R.A., Kachanov S.A. Enhancement of measures aimed at increasing level of protection of critically important objects for the national security of the Russian Federation objects and people and their protection from technogenic and natural threats and terrorist acts. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2010, vol. 7, no. 1–2, pp. 83–88.

**Korol'kov N.S.** — student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — R.A. Taranov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.