

## МОДЕЛЬ УГРОЗ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

И.А. Кукало, А.П. Кшнянкин, С.Н. Гривцов\*

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

\*ОАО «Центрсибнефтепровод», г. Томск

E-mail: i@kukalo.ru

Отмечена особенность управления безопасностью протяженных объектов большого, национального масштаба, типа линейной части магистрального нефтепровода. Предложена иерархическая модель угроз типовой линейной части магистрального нефтепровода. Приведена посуточная оценка вероятности реализации угроз его физической безопасности с применением метода, основанного на статистических данных для линейной части магистрального нефтепровода ОАО «Центрсибнефтепровод». Определены группы факторов, оказывающих влияние на указанную модель, а также весовые коэффициенты, учитывающие вклад каждого фактора. Дана иллюстративная оценка погонного распределения вероятности реализации угроз безопасности линейной части магистрального нефтепровода «Александровское–Анжеро-Судженск».

### Ключевые слова:

Угрозы физической безопасности, магистральный нефтепровод.

### Key words:

Physical security threats, oil pipeline.

Основные меры, обеспечивающие безопасность, в том числе антитеррористическую защищенность объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в Российской Федерации, устанавливаются Федеральным законом «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» [1]. Типовым объектом такого рода является линейная часть магистрального нефтепровода (ЛЧ МН) – пространственно-протяженная, сложная структурная составная часть магистрального нефтепровода, предназначенная для транспортировки нефти и нефтепродуктов [2]. Указанная особенность инфраструктуры ЛЧ МН осложняет задачу обеспечения ее безопасности, не позволяя использовать для этой цели стандартные методики защиты, пригодные для точечных объектов.

Известные подходы к управлению безопасностью сложных и масштабных, таких как ТЭК, систем чаще всего основываются на процедуре категорирования опасных объектов. При этом объектам одной категории предъявляются единые требования по обеспечению безопасности – стандартная модель угроз и профиль защиты, т. е. типовой состав комплекса средств и мероприятий, обеспечивающий приемлемый уровень безопасности всего множества объектов данной категории [3]. Альтернативой категорированию, как известно, является процедура построения моделей угроз, оценка уязвимостей, построение моделей защиты и систем требований не только для типовых объектов каждой категории, но и по каждому объекту системы. Такой подход, основанный на исследовании модели актуальных угроз и модели событий рисков, при которых эти угрозы могут быть реализованы, и построении модели защиты объекта дан, например, в работе [4]. Однако предложенная авторами [4] итерационная модель управления рисками применима лишь к структурированным локализованным объектам и не может непосредственно применяться

для проектирования и оптимизации систем физической защиты (СФЗ) протяженных объектов типа ЛЧ МН.

Целью настоящей работы является создание модели угроз физической безопасности (ФБ) пространственно-протяженных объектов, которая, как известно, является основой для построения модели следующего уровня – общей модели управления рисками систем, в т. ч. таких, как СФЗ типа ЛЧ МН.

В основу описания модели объекта защиты положим подход авторов [4], предложенный ими для моделирования эффективности систем защиты критически важных объектов (КВО). Для этого обозначим совокупность объектов ЛЧ МН как системное множество  $S$  составляющих его компонентов  $O_j$ , где  $i \in I^S$  – множество индексов всех компонентов  $S$ :  $S = \{O_j\}$ .

Компоненты системы  $S$ , с которыми не связаны какие-либо угрозы безопасности, в модель объекта защиты включаться не будут. Следуя далее [4], структурируем объект защиты и выделим  $J$  уровней иерархии его компонентов. Часть системы, относимую к  $j$ -му уровню иерархии, обозначим как  $S^j$ ,  $j \in J = \{1 \dots J\}$ . При этом уровень системы в целом будет соответствовать 1-му уровню иерархии, самый низкий уровень иерархии будет  $J$ -м. В этом случае система может быть представлена в виде структурной модели:

$$S = \{O_{js}^j\},$$

где  $j$  – иерархические уровни компонентов системы  $S$ .

Множество объектов системы ЛЧ МН предлагаем структурировать в соответствии с данными табл. 1. Количество и состав уровней объектов системы определяется существующей организационно-правовой структурой транспортных организаций системы магистральных нефтепроводов ОАО

«АК «Транснефть», с учетом требований, сформированных службой безопасности ОАО «Центрсибнефтепровод» в процессе осуществления своей деятельности.

**Таблица 1.** Перечень иерархических уровней системы  $S$  ЛЧ МН

$j$	Наименование	Обозначение	Примеры объектов уровня
1	Система МН	$S = \{O_1^j\}$	Система МН ОАО «АК «Транснефть»
2	Подсистема МН	$S^2 = \{O_2^j\}$	МН ОАО «Центрсибнефтепровод»
3	МН	$S^3 = \{O_3^j\}$	МН «Александровское-Анжеро-Судженск»
4	Километровые участки МН	$S^4 = \{O_4^j\}$	132 километр МН «Александровское-Анжеро-Судженск» (включая запорную и иную арматуру, переходы через естественные и искусственные препятствия), вдольтрассовое обо

Отдельные компоненты, определенные на множестве  $\{O_i^j\}$ , могут принадлежать к разным иерархическим уровням, однако, следуя [4], будем считать, что если компонент находится на более высоком уровне иерархии, он может включать в себя компоненты более низкого иерархического уровня. То есть для любого объекта при  $j < J$  будет существовать множество

$$O_{i^s}^j \supset \{O_{i^o}^{j+1}\}, i^o \in I_{i^s}^{O_i^j},$$

где  $I(O_i^j)$  – множество индексов компонентов  $(j+1)$ -го уровня иерархии, входящих в состав компонента  $O_i^j$ .

Сформируем модель угроз ФБ ЛЧ МН как математическое, описательное представление свойств или характеристик угроз, реализуемых при совершении актов незаконного вмешательства ЛЧ МН [5, 6]. Для этого указанную совокупность представим множеством  $Y^S$ , связанным с системой  $S$  и со всеми ее компонентами, как:

$$Y^S = \{Y^{O_i^j}\}.$$

Здесь каждому объекту  $O_i^j$  сопоставляется некоторое множество угроз  $Y^{O_i^j}$ , которое и представляет собой формальную модель угроз для рассматриваемой системы  $S$ . Источником угроз  $Y^S$  является множество злоумышленников, которое может быть представлено как:

$$N^S = \{N^{Y^{O_i^j}}\}.$$

Возможная модель злоумышленника представлена в табл. 2.

Рассмотрим один из возможных вариантов задания элементов множества  $Y^S$  для ЛЧ МН, представленный в табл. 3.

Ниже, наряду с данными табл. 3, в качестве основной характеристики элементов множества  $Y^S$  будем использовать вероятности реализации угроз  $\bar{P}_{Y_i^S}$ .

**Таблица 2.** Модель злоумышленника

$N_i^S$	Наименование злоумышленника	Описание злоумышленника
$N_1^S$	Группа преступных элементов	Лицо или группа лиц, существующая в течение определённого периода времени и действующая согласованно с целью совершения одного или нескольких актов незаконного вмешательства с тем, чтобы получить, прямо или косвенно, материальную или иную выгоду
$N_2^S$	Внутренние нарушители	Лицо или группа лиц, обладающих правом доступа на объект защиты и к материальным ценностям в силу выполнения служебных или иных обязанностей
$N_3^S$	Диверсионно-террористическая группа	Подразделение, используемое для совершения диверсионно-террористических актов, уничтожения или временного вывода из строя важнейших объектов топливно-энергетического комплекса

**Таблица 3.** Модель угроз безопасности системы  $S$

$Y_i^S$	Наименование угрозы	Злоумышленники, реализующие угрозу	Описание угрозы
$Y_1^S$	Врезка в ЛЧ МН	$N_1^S, N_2^S$	Установка патрубка с задвижкой с последующим нарушением целостности трубопровода для несанкционированной кражи нефти
$Y_2^S$	Взлом вдольтрассового обводования и получение доступа к нефти ЛЧ МН	$N_1^S, N_2^S$	Взлом вантузов, камер приема-пуска средств очистки и диагностики, запорной арматуры и других технологических устройств с целью несанкционированной кражи нефти
$Y_3^S$	Установка взрывчатых устройств на ЛЧ МН	$N_3^S$	Реализация террористического акта с целью нанесения материального, экологического и политического ущерба объекту топливно-энергетического комплекса

В качестве количественных методов оценки вероятности событий рассматриваются следующие: детерминированные, статистические, детерминированно-статистические, вероятностные, статистико-вероятностные, детерминированно-вероятностные и др. [7]. В настоящее время в системе промышленной безопасности объектов топливно-энергетического комплекса наиболее распространенными являются статистические методы [2]. Для их применения производится обобщение статистической информации организаций, осуществляющих эксплуатацию ЛЧ МН, о частоте возникновения актов незаконного вмешательства.

Для определения вероятности реализации рисков событий ФБ на ЛЧ МН воспользуемся по-

казателем  $\bar{\lambda}_{\text{МН}}^j$  — интенсивность инцидентов нарушения ФБ (год<sup>-1</sup>) на объектах  $S^3=\{O_i^3\}$  для угрозы  $Y_j^s$ .

Поскольку в практике планирования мероприятий по снижению вероятностей реализации угроз ОАО «Центрсибнефтепровод» в качестве единичного интервала времени используются одни сутки, то именно данную единицу будем использовать в дальнейшем при описании вероятности реализации угроз ФБ. В общем случае значение вероятности суточной реализации угроз будет определяться по формуле точечного определения вероятности [8], где общее количество испытаний — это количество дней в году, а число появления событий равно  $\bar{\lambda}_{\text{МН}}^j$ , поэтому:

$$\begin{cases} \bar{p}_{y_j^s} = 1, & \text{если } \bar{\lambda}_{x_i}^j > K, \\ \bar{p}_{y_j^s} = \frac{\bar{\lambda}_{x_i}^j}{K}, & \text{если } \bar{\lambda}_{x_i}^j \leq K, \end{cases} \quad (1)$$

где  $K=365$  — количество дней в году;  $x \in X$  — множество статистических показателей интенсивности реализации угроз;  $j \in J, J$  — множество индексов угроз безопасности;  $i \in I, I$  — множество индексов объектов, для которых определены статистические показатели;  $t \in T, T$  — множество индексов месяцев в году.

Вероятность реализации угроз ФБ может быть определена на различных уровнях иерархии объекта защиты  $S$ . При этом чем ниже уровень иерархии, на котором будет оцениваться вероятность реализации угрозы, тем большее количество влияющих факторов эта вероятность может учитывать. Поэтому, учитывая иерархическую вложенность подсистем  $S$  рассматриваемой модели объекта, оценку вероятности реализации угроз ФБ для участка ЛЧ МН будем вычислять на основе значения  $\bar{p}_{y_j^s}$ .

Вероятность  $\bar{p}_{y_j^s}$  реализации угрозы  $O_i^3$  найдем по формуле полной вероятности [8], при условии появления одного из несовместимых событий врезки на произвольном километровом участке  $O_i^4 - N_j, j \in J=\{1...L_o\}$ , где  $L_o$  — длина ЛЧ МН  $O_i^3$  (км).

Так как события  $N_1, N_2, ..., N_n$  образуют полную группу, то:

$$p(N) = p(N_1) + p(N_2) + ... + p(N_n) = 1. \quad (2)$$

Заметим далее, что любой из объектов  $O_i^4$ , независимо от его местоположения, диаметра трубы и т. д., позволит злоумышленнику получить одинаковую выгоду, поэтому вероятность выбора злоумышленником объектов  $O_i^4$  при реализации угрозы носит случайный характер. На этом основании выражение для оценки  $p(N_j, \text{ км})$  произвольного ЛЧ МН  $O_i^3$  можно записать как:

$$p(N_j) = \frac{1}{L_o^3}. \quad (3)$$

Далее по формуле полной вероятности получим:

$$\begin{aligned} \bar{p}_{y_j^s} &= p(N_1)p_{N_1}(y_j^s) + p(N_2)p_{N_2}(y_j^s) + ... + \\ &+ p(N_n)p_{N_n}(y_j^s), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $p_{N_j}(y_j^s)$  — вероятность реализации угрозы врезки на конкретном километровом участке  $O_i^4$ .

Для того чтобы учесть факторы, влияющие на вероятность реализации угрозы на том или ином километровом участке, введем коэффициенты  $k_{N_j}$ , определяющие степень опасности конкретного участка ЛЧ МН:

$$p_{N_j}(y_j^s) = k_{N_j} \bar{p}_{y_j^s}. \quad (5)$$

Для определения коэффициентов  $k_{N_j}$  в формуле (4) для каждого километрового участка ЛЧ МН воспользуемся методом балльной оценки факторов [2]. На первоначальном этапе определим группы факторов влияния  $Gr_i$  с весовыми коэффициентами  $\rho_i$ , определяющими вероятность их влияния на реализацию угрозы ФБ. В пределах каждой группы  $Gr_i$  определим факторы влияния в количестве  $J_i$ . Каждый фактор имеет буквенно-цифровое обозначение  $F_{ij}$ , где  $i$  — номер группы,  $j$  — номер фактора в группе. Относительный вклад фактора  $F_{ij}$  внутри своей группы в изменение вероятности актов незаконного вмешательства на рассматриваемом участке ЛЧ МН учитывается с помощью весового коэффициента (доли)  $q_{ij}$ .

Расчет коэффициента  $k_{N_j}$  производился нами с использованием балльной оценочной системы, при которой каждому значению фактора  $F_{ij}$  ставится в соответствие определенное, назначаемое на основании расчета или экспертной оценки, количество баллов  $B_{ij}$  (по 10-балльной шкале), отражающее интенсивность его влияния. При рассмотрении конкретного  $n$ -го участка трассы последовательно оценивается степень влияния каждого из факторов. Полученные для всех факторов влияния балльные оценки  $\{B_{ij}, i=1, ..., I, j=1, ..., J_i\}$  подставляются в формулу:

$$k_{N_j} = \frac{B_n}{B_{\text{ср}}},$$

где  $B_n$  — балльная оценка  $n$ -го участка трассы МН, определяемая как:

$$B_n = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} \rho_i q_{ij} B_{ij},$$

где  $B_{\text{ср}}$  — средняя балльная оценка трассы МН (среднее арифметическое), полученная на основе балльной оценки каждого участка трассы ( $n=1, ..., N$ ), а  $N$  — общее количество рассматриваемых участков трассы ЛЧ МН.

Из-за отсутствия необходимых статистических данных для определения коэффициентов  $\rho_i$  и  $q_{ij}$  применим метод экспертной оценки. Поскольку количество долей факторов невелико ( $n \leq 3$ ), воспользуемся методом непосредственной оценки экспертной группой с использованием метода Дельфи [9]. В результате опроса и экспертной оценки рассматриваются группы факторов влияния, представленные в табл. 4. В состав экспертной группы службой безопасности включены сотрудники ОАО «Центрсибнефтепровод» различного

го уровня — от охранников и начальников команд службы безопасности до управленческого персонала организации.

**Таблица 4.** Группы факторов влияния

Обозначение и наименование группы факторов		Доля группы, $\rho_i$		
		Угроза $Y_1^s$	Угроза $Y_2^s$	Угроза $Y_3^s$
$Гр_1$	Предпосылки акта незаконного вмешательства	0,20	0,20	0,80
$Гр_2$	Реализация акта незаконного вмешательства	0,40	0,40	0,10
$Гр_3$	Извлечения выгоды в результате акта незаконного вмешательства	0,40	0,40	0,10

В результате повторных раундов опроса и экспертной оценки внутри каждой из групп были получены факторы влияния и их весовые коэффициенты, представленные в табл. 5.

**Таблица 5.** Факторы влияния

Обозначение и наименование фактора влияния		Доля в группе $q_{ij}$		
		Угроза $Y_1^s$	Угроза $Y_2^s$	Угроза $Y_3^s$
Группа 1: Предпосылки незаконного вмешательства				
$F_{11}$	Криминогенная обстановка	0,20	0,30	0,70
$F_{12}$	Населенность прилегающих территорий	0,60	0,40	0,20
$F_{13}$	Уровень занятости населения прилегающих территорий	0,20	0,30	0,10
Группа 2: Реализация незаконного вмешательства				
$F_{21}$	Защищенность объекта	0,10	0,10	0,60
$F_{22}$	Наличие подъездных путей	0,60	0,60	0,10
$F_{23}$	Наличие специального оборудования, персонала и транспорта для реализации акта незаконного вмешательства	0,30	0,30	0,30
Группа 3: Извлечения выгоды в результате незаконного вмешательства				
$F_{31}$	Наличие на прилегающих территориях пунктов сбыта похищенной продукции	0,90	0,80	0
$F_{32}$	Репутационные, экологические и политические последствия	0,10	0,20	1

В качестве примера в табл. 6 приведены значения отдельных составляющих фактора  $F_{31}$  и соответствующие им балльные оценки  $B_{31}^{(m)}$ , где  $m$  — номер составляющей. Итоговая балльная оценка для данного фактора рассчитывается как сумма балльных оценок нижеприведенных пяти составляющих. Если сумма баллов превышает 10, то  $B_{31}=10$ .

Поскольку необходимые статистические данные для анализа коэффициентов  $\rho_i$  и  $q_{ij}$  отсутствуют, проверка их адекватности была выполнена с помощью метода ранжирования. Метод ранжи-

рования является более достоверным, чем метод непосредственной оценки факторов влияния, с помощью которого первоначально были определены коэффициенты  $\rho_i$  и  $q_{ij}$  [10]. В результате ранжирования факторов экспертной группой того же состава значения рангов факторов влияния совпали с порядками произведения коэффициентов  $\rho_i \cdot q_{ij}$ , расположенных в порядке возрастания. Поскольку значение коэффициента координации  $0,92 \geq 0,5$ , можно утверждать о согласованности экспертов и адекватности оценки коэффициентов  $\rho_i$  и  $q_{ij}$ .

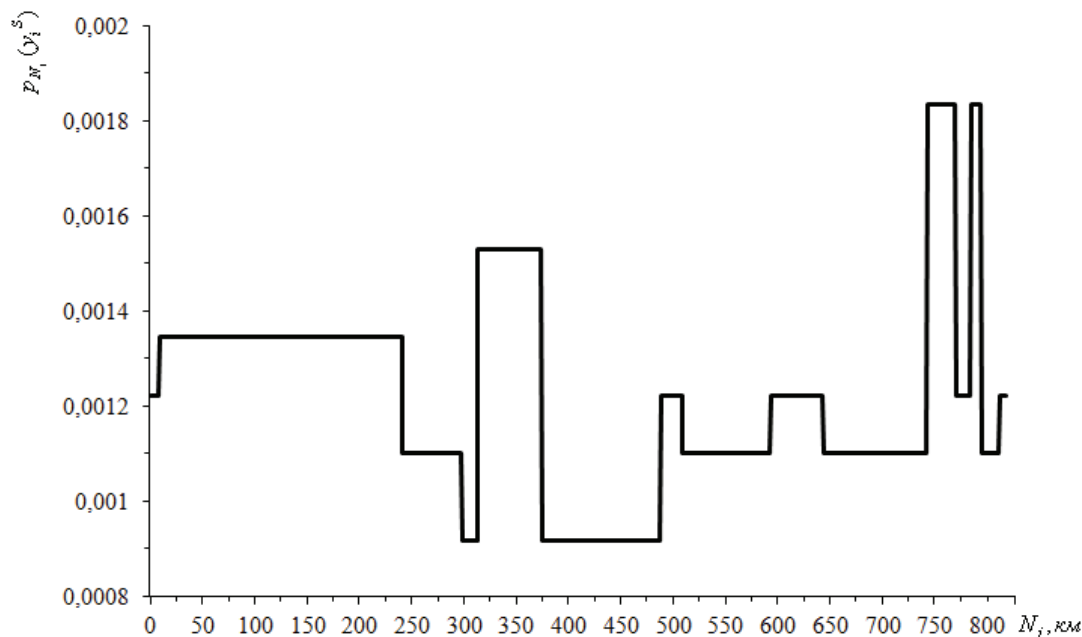
**Таблица 6.** Балльная оценка фактора  $B_{31}$

$m$	Наименование составляющей $m$ , В районе пролегания участка нефтепровода	$B_{31}^{(m)}$
1	Находятся потребители, использующие нефть в качестве топлива (малые котельные, теплицы, хлебо-заводы, асфальтобитумные заводы и др.)	5
2	Имеются сведения о наличии нелегальных нефтеперерабатывающих заводов	10
3	Располагаются частные малые нефтеперерабатывающие заводы	7
4	Располагаются крупные нефтеперерабатывающие заводы	2
5	Осуществляют предпринимательскую деятельность юридические лица, занимающиеся торговлей нефтепродуктами	3

Результаты использования вышеописанной методики для оценки вероятностей  $p_{N_j}(y_i^s)$  реализации угроз ФБ (в течение года) километровых участков ЛЧ МН, эксплуатируемых ОАО «Центрсибнефтепровод», представлены на рисунке. Полученные данные погонного распределения  $p_{N_j}(y_i^s)$  участков определенного ЛЧ МН могут быть использованы для планирования мероприятий по укреплению защищенности конкретных участков, а также для менеджмента рисков ФБ ЛЧ МН.

Заметим, что вероятности реализации угроз  $\bar{p}_{y_i^s}$  в формулах (1)–(5) составляют коммерческую тайну ОАО «Центрсибнефтепровод». Поэтому данные, использованные для расчета описанной выше модели угроз ЛЧ МН «Александровское–Анжеро-Судженск», являются гипотетическими и носят чисто иллюстративный характер.

Аналогов разработанной модели угроз ФБ и предложенной методики оценки вероятности для линейных объектов ТЭК авторами найдено не было. Реализация разработанной модели и предложенной методики включена в технические требования по созданию автоматизированной системы контроля защищенности ЛЧ МН в ОАО «Центрсибнефтепровод». Предложенная модель угроз в результате изменения перечня злоумышленников, угроз и переоценки коэффициентов факторов влияния может быть применена для моделирования угроз ФБ других линейных объектов ТЭК: электрических сетей, магистральных газопроводов, нефтепродуктопроводов.



**Рисунок.** Вероятностная характеристика МН «Александровское–Анжеро-Судженск»

### Выводы

Предложенная выше многоуровневая иерархическая модель пространственно-протяженной инфраструктуры ЛЧ МН как объекта защиты использовалась нами для формирования модели угроз ФБ ЛЧ МН. В качестве основной характеристики угроз ФБ использована вероятность их реализации для нижнего уровня декомпозиции объекта защиты. Полученные соотношения (1)–(5) являются основой для проведения последующей процедуры менеджмента рисков и оптимизации соответствующих реальных систем ФБ распределенных систем.

С помощью указанных соотношений установлены факторы влияния на уровни угроз ЛЧ МН, а также определены весовые коэффициенты, учитывающие вклад каждого фактора. В качестве модельной иллюстрации произведена оценка вероятности реализации угроз ФБ для участков МН «Александровское–Анжеро-Судженск», а также соответствующие вероятностные характеристики.

*Выражаем благодарность за помощь в подготовке статьи Геннадию Наумовичу Глазову, ведущему научному сотруднику ЗАО «НПФ «Микран».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 2011 г. N 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» // Российская газета – издание Правительства Российской Федерации, официальный публикатор документов. 2013. URL: <http://www.rg.ru/2011/07/26/tek-dok.html> (дата обращения: 04.02.2013).
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности: в 4-х ч. Ч. 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности / науч. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГОФ «Знание», 2007. – 864 с.
3. Кононов А.А., Стилиславский А.Б., Цыгичко В.Н. Управление рисками нарушения транспортной безопасности. – М.: АС-Траст, 2008. – 210 с.
4. Кононов А.А., Черныш К.В., Гуревич Д.С., Поликарпов А.К. Оценка рисков в иерархических структурах критически важных объектов // Управление рисками и безопасностью / под ред. Д.С. Черешкина. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – Т. 52. – С. 5–15.
5. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные термины и определения // Каталог национальных стандартов – Росстандарт. 2013. URL: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=6&page=0&month=1&year=2008&search=&id=129024> (дата обращения: 04.02.2013).
6. Факты незаконных врезок по системе «Транснефть» // ОАО «АК «Транснефть». 2013. URL: <http://www.transneft.ru/dagestan/263/> (дата обращения: 04.02.2013).
7. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью: методические рекомендации / науч. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГОФ «Знание», 2008. – 672 с.
8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Изд-во «Юрайт», 2013. – 479 с.
9. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью: в 4-х ч. Ч. 3. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов / науч. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГОФ «Знание», 2007. – 816 с.

Поступила 04.03.2013 г.