

УДК 622.692.4.053:614.8

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2018

БЕЗОПАСНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ: ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ

В.А. Комаров, З.В. Семенова¹, Е.М. Михайлов¹, А.А. Нигрей, Д.А. Бронников

Омский государственный университет путей сообщения (644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35)

¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5)

SECURITY OF MAJOR PIPELINES IN PRESENCE OF TERRORISTIC THREATS: PROGNOSTIC ESTIMATES

Vladimir A. Komarov, Zinaida V. Semenova¹, Evgeniy M. Mikhaylov¹, Aleksey A. Nigrey, Dmitriy A. Bronnikov

Omsk State Transport University (35 Marksa av., Omsk, 644046, Russian Federation)

¹Siberian State Automobile and Highway University (5 Mira av., Omsk, 644080, Russian Federation)

Получена / Received: 08.11.2017. Принята / Accepted: 02.02.2018. Опубликовано / Published: 30.03.2018

Ключевые слова:

магистральные трубопроводы, террористические угрозы, несанкционированные взрывы, система физической защиты, надежность обнаружения, мультисенсорные системы, виброакустические колебания, обнаружение утечек, охранная зона, сейсмические колебания, затраты на защиту объекта, проблема предотвращения хищений нефти, вероятности ошибок 1-го и 2-го рода, экономический ущерб, затраты на защиту объекта.

Key words:

major pipelines, terroristic threats, unauthorized tie-in, physical security system, detection reliability, multi-sensor systems, vibroacoustic oscillations, leak detection, security zone, seismic oscillations, object protection costs, oil theft prevention problem, probability of errors of 1st and 2nd kind, economic damage, object security cost.

Цель статьи – обосновать подход к определению требуемого значения вероятности обнаружения несанкционированных попыток контактировать с оболочкой трубы для поддержания минимального уровня потерь на охрану трубопровода, оценить тенденцию ее изменения в ближайшей перспективе и на основе этой информации предложить структуру системы физической защиты магистральных трубопроводов для нейтрализации террористических атак. Приведены результаты исследований виброакустических колебаний в оболочке трубы магистрального продуктопровода в процессе его эксплуатации. Дано объяснение механизма изменения параметров виброакустического импульса, возбужденного в локальной точке трубопровода, при его распространении по трубопроводу. Рассмотрены результаты исследований по решению задачи обнаружения и предотвращения возникновения чрезвычайной ситуации в охранной зоне по сейсмическим колебаниям. Сделан вывод о возможности обнаружения предвестников чрезвычайных ситуаций по виброакустическим и сейсмическим колебаниям оболочки трубы.

Продемонстрирована эффективность предложенного подхода по определению требований к системам защиты объектов от террористических угроз. Выбор региона определен наличием опубликованных данных, охватывающих сравнительно протяженный период, необходимых для постановки вычислительного эксперимента. Представляет интерес получать прогнозные оценки в этом сегменте экономики для страны в целом.

Наличие такой информации позволит сформировать политику по обнаружению террористических атак и определиться с требованиями к системе физической защиты, которые необходимо обеспечить в текущий период и в ближайшей перспективе.

На сегодняшний день не рассматривается возможность эффективного противодействия подготовленным нарушителям по достижению поставленных ими целей с помощью любых из известных односенсорных систем.

Сделан вывод о необходимости разработки мультисенсорной системы, минимальная комплектация которой должна включать взаимосвязанные сейсмическую и виброакустическую подсистемы. Комбинация виброакустической и сейсмоаналитической подсистем позволяет компенсировать наиболее значимые недостатки каждой из них.

The purpose of the paper is to substantiate the approach to determining the required probability of detecting unauthorized attempts to contact the pipe shell to maintain a minimum level of pipeline security losses. That is also necessarily to assess probability trend in the near future. Based on the information obtained it is planned to propose the structure of the physical pipeline security system to neutralize terroristic attacks. Results of studies of vibroacoustic oscillations in the shell of a major pipeline during its operation are given. The mechanisms of change in parameters of a vibroacoustic pulse excited at a local point of a pipeline when it is propagated through a pipeline are explained. Results of studies on the solution of the problem of detection and prevention of emergencies in the protected zone by seismic oscillations are considered. It is concluded that it is possible to detect precursors of emergencies by vibroacoustic and seismic vibrations of the pipe shell.

The effectiveness of the proposed approach to determine the requirements for systems of protection of objects from terroristic threats is demonstrated. The region was chosen in accordance with available published data for a relatively long period of time, necessary for setting up a computational experiment. It is interesting to receive prognostic estimates in that segment of economy for the country as a whole.

Presence of such information allow creating a policy for detecting terroristic attacks and deciding on the requirements for the physical protection system that have to be provided in the current period and short term.

Today, there is no way to effectively fight with prepared violators to achieve their goals using any of the known single-sensor systems.

It is concluded that there is a need to develop a multi-sensor system, minimum equipment of which should include interconnected seismic and vibro-acoustic subsystems. Combination of vibro-acoustic and seismoanalytical subsystems allows compensating the most significant drawbacks of each of them.

Комаров Владимир Александрович – аспирант кафедры информационной безопасности (тел.: +007 913 631 00 57, e-mail: reallkom@gmail.com).

Семенова Зинаида Васильевна – доктор педагогических наук, профессор, заведующая кафедрой информационной безопасности (тел.: +007 913 615 89 758, e-mail: zvs111@gmail.com).

Михайлов Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности (тел.: +007 913 615 17 50, e-mail: emm100@mail.ru).

Нигрей Алексей Андреевич – аспирант кафедры информационной безопасности (тел.: +007 913 638 60 02, e-mail: nigrey.n@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

Бронников Дмитрий Алексеевич – аспирант кафедры информационной безопасности (тел.: +007 929 365 85 37, e-mail: dmi-bronnikov@yandex.ru).

Vladimir A. Komarov (Author ID in Scopus: 57197211324) – PhD student at the Department of Information Security (tel.: +007 913 631 00 57, e-mail: reallkom@gmail.com).

Zinaida V. Semenova – Doctor of Pedagogy, Professor, Head of the Department of Information Security (tel.: +007 913 615 89 758, e-mail: zvs111@gmail.com).

Evgeniy M. Mikhaylov – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Information Security (tel.: +007 913 615 17 50, e-mail: emm100@mail.ru).

Aleksey A. Nigrey (Author ID in Scopus: 57200720879) – PhD student at the Department of Information Security (tel.: +007 913 638 60 02, e-mail: nigrey.n@mail.ru). The contact person for correspondence.

Dmitriy A. Bronnikov (Author ID in Scopus: 57200729064) – PhD student at the Department of Information Security (tel.: +007 929 365 85 37, e-mail: dmi-bronnikov@yandex.ru).

Введение

Одной из самых актуальных и сложных проблем эксплуатации магистральных трубопроводов является проблема обнаружения несанкционированных врезок и предотвращения хищений нефти из трубопроводов [1]. За последние 5 лет на территории Российской Федерации выявлено почти 5 тысяч несанкционированных врезок – это 70 % всех преступлений, связанных с хищением нефти и продуктов ее переработки. Каждая четвертая из этих врезок обнаружена на территории Самарской области [2]. По сообщению президента «Транснефти», в регионах Российской Федерации в 2014 г. выявлено 320 случаев криминальных врезок в магистральные трубопроводы, в 2015 г. – 385 врезок, за 10 месяцев 2016 г. – 238 несанкционированных врезок [3].

Криминальные вмешательства в работу магистральных трубопроводов представляют наибольшую угрозу для окружающей среды, поскольку они становятся причиной разливов нефти и нефтепродуктов, загрязнения почвы, рек и водоемов.

Проблема криминальных врезок и хищений нефти из магистральных нефтепроводов рассматривается экспертами как серьезная многофакторная угроза национальной безопасности России. Согласно данным, полученным автором [4], доля всех происшествий по этой причине составляет 69 % от всех аварий.

Анализ ежегодных отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2010–2016 гг. [5] свидетельствует о том, что с течением времени аварийность на магистральных трубопроводах уменьшается (рис. 1).

Ежегодный экономический ущерб предприятий от аварий на объектах магистрального трубопроводного транспорта, по официальным данным Ростехнадзора, исчисляется сотнями миллионов рублей [5] (рис. 2).

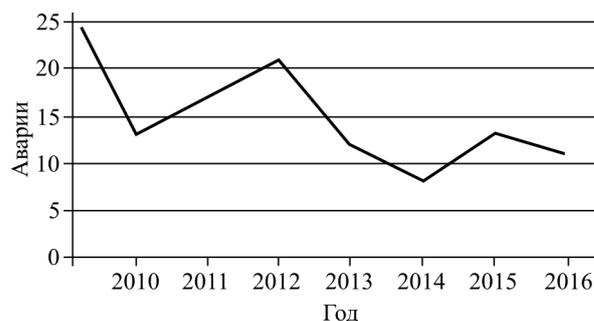


Рис. 1. Динамика аварийности на магистральных трубопроводах России с 2010 по 2016 г.

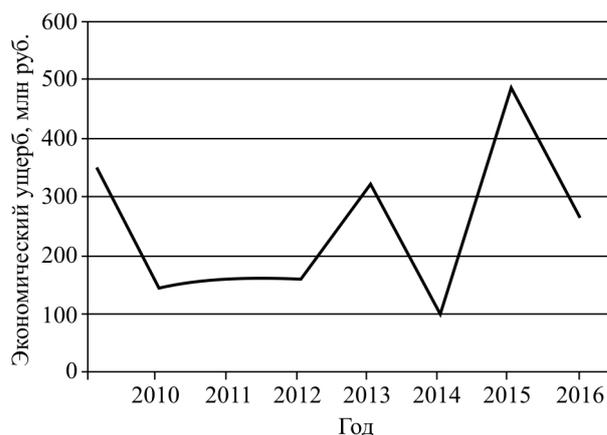


Рис. 2. Экономический ущерб предприятий от аварий на магистральных трубопроводах с 2007 по 2016 г.

Авторами [6] проведен анализ публикаций по обеспечению безопасности трубопроводного транспорта и обнаружению несанкционированных работ в охранной зоне объекта мониторинга, который показал, что исследования в основном сконцентрированы на создании системы физической защиты магистральных трубопроводов, реализующей принцип «не пропустить контакта злоумышленника с оболочкой трубы».

В статье [6] авторы указывают, что за последние несколько лет в международных базах данных представлено значительное количество публикаций по этой тематике. Так, в базе данных Web of Science более 80 публикаций, в Scopus – более 60. Анализ публикаций базы данных РИНЦ за последние 5 лет (2012–2016) свидетельствует о том, что среди научных работников возобновился интерес к проблеме обеспечения безопасности трубопроводного транспорта и обнаружения несанкционированных врезок – более 90 (рис. 3).

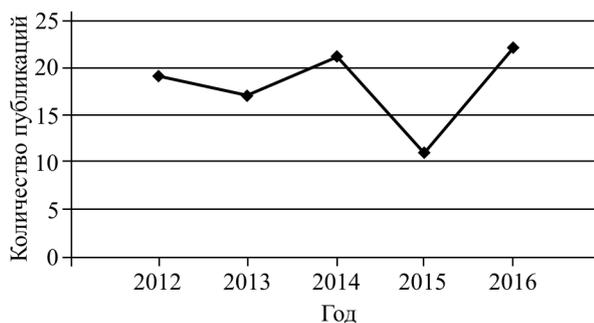


Рис. 3. Динамика публикационной активности в базе данных РИНЦ по проблеме обеспечения безопасности трубопроводного транспорта и обнаружению несанкционированных работ в охранной зоне объекта мониторинга с 2012 по 2016 г.

Поэтому на современном этапе развития трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов имеет особое значение вопрос обеспечения надежности и безаварийности магистральных трубопроводов.

Имеется ряд исследований по решению задачи обнаружения и предотвращения возникновений чрезвычайных ситуаций в охранной зоне по сейсмическим колебаниям [7–9]. Улучшение параметров видеоаналитической системы для обнаружения подозрительных действий субъектов в контролируемой зоне декларируется патентом [10]. Разведку малых утечек перекачиваемого продукта предлагается проводить с использованием тепловизионных систем, установленных на воздушных носителях [11]. В [12, 13] рассмотрена возможность использования тепловизионных систем для обнаружения утечек продукта и замаскированных мест раскопок. Передаточная характеристика тракта передачи виброакустических сигналов, сформированных в оболочке трубопровода, определяется рядом факторов, в том числе состоянием прилегающего к нему грунта. Данное обстоятельство используется для обнаружения утечек продукта и раскопок в зоне контролируемого объекта [14–17]. В отдельных случаях применяются видеоаналитические системы, позволяющие проследить поведение субъекта(ов) в охранной зоне объекта мониторинга [18, 19].

Наибольший интерес проявляется к исследованию волоконно-оптического кабеля для выявления несанкционированных работ в охранной зоне трубопровода [20, 21]. Сейсмические колебания вызывают деформацию кабеля, их интенсивность в любом его месте определяется по отраженным от неоднородностей оптическим сигналам. Главной проблемой волоконно-оптической технологии в текущий период считается подавление сопутствующих шумов. Нестационарные флуктуации сейсмических полей снижают показатели по надежности обнаружения сигналов от объектов. Проблема получения приемлемых оценок по вероятностям идентификации видов событий при анализе регистрируемых с оптического волокна процессов обсуждена в [22]. Однако в работе [23] справедливо отмечается отсутствие достоверных данных об удовлетворительной работе подобных систем на протяжённых (свыше 10 км) объектах. В этой статье приводятся результаты испытаний отечественной системы «Дунай»: была подтверждена ее способность обнаруживать перемещение тяжёлой техники, разработку грунта механизированным способом в зоне чувствительности волоконно-оптического кабеля. Зона обнаружения тяжёлой техники составила 100–150 м, при механизированной разработке грунта – 50–100 м. Чувствительность зависит от ряда факторов: глубины прокладки кабеля, типа кабеля, типа грунта и его состояния (сухой, влажный, мёрзлый), типа события, расстояния до рефлектометра. Оптимальная глубина прокладки кабеля составляет 30–40 см, поскольку при этом до кабеля доходят поверхностные акустические волны.

В [24] делается вывод о необходимости проведения НИОКР, а также разработки методики обработки данных с целью дальнейшего совершенствования данной

технологии. Характерной чертой проведенных исследований является отсутствие описания с требуемой подробностью условий проведения экспериментов и получаемых оценок по вероятностям ошибок 1-го и 2-го рода, а также информации о работоспособности исследуемых систем при наличии искусственно создаваемых злоумышленниками помех. Нет обоснованных данных по надежности обнаружения вторжений лиц в охранную зону трубопровода и классификаций совершаемых ими действий. Директивные оценки вида «... минимальная наработка на ложное срабатывание ... не должна быть менее 170 ч (1 неделя), хорошая помехоустойчивость характеризуется $T_{лс} \geq 720$ ч (1 месяц)» [25] не имеют под собой серьезной доказательной базы ($T_{лс}$ – длительность интервала появления 1-й ложной тревоги).

Постановка задачи

В соответствии с системными законами процесс совершенствования технологии решения конкретных задач вначале характеризуется наибольшей скоростью приращения ее параметров. Затем наступают замедление роста и резкое увеличение затрат на обеспечение незначительного прироста этих параметров. Имеет место эволюционный закон развития технологий, описываемый S-образной кривой.

Возможности совершенствования методов обнаружения и распознавания образов подчиняются такой же закономерности. После достижения определенных значений вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода их дальнейшее незначительное снижение сопряжено со столь масштабным увеличением необходимых ресурсов, что теряется смысл в реализации этого намерения, необходимо использовать новый метод или комбинацию старого с новым.

На рис. 4 приведены графики, отражающие потери собственника объекта при его эксплуатации в зависимости от вероятности

обнаружения террористических атак P_a [26]. Чем меньше средств вкладывается в обеспечение безопасности созданной инфраструктуры, тем больших потерь следует ожидать при ее эксплуатации. Точка минимума суммарных потерь определяет требуемую вероятность обнаружения атак.

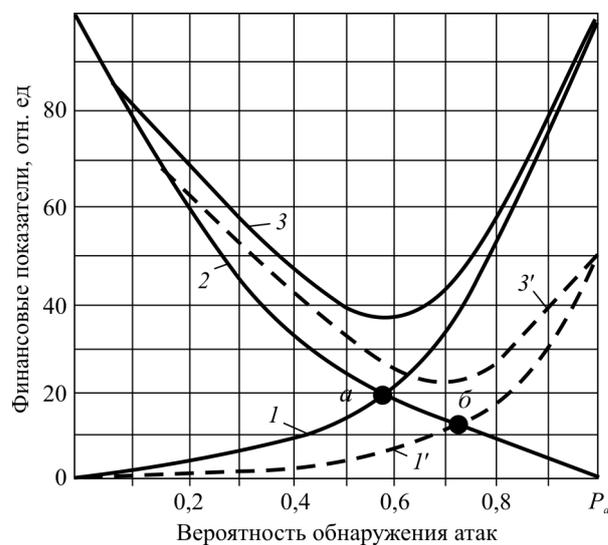


Рис. 4. Финансовые показатели противоборства сторон в зависимости от вероятности обнаружения атак P_a : 1 ($1'$) – расходы на защиту при использовании односенсорной ($1'$) и мультисенсорной ($1'$) систем; 2 – ущерб от пропущенных атак; 3 ($3'$) – суммарные потери собственника объекта при использовании односенсорной (3) и мультисенсорной ($3'$) систем с точками a, b

Совершенствование односенсорных систем для повышения вероятности P_a на последней стадии «S-образного» развития связано с большими расходами. Есть пределы совершенствования: противодействующая сторона изобретает новые приемы проведения атак. Данное обстоятельство стимулирует разработки мультисенсорных систем (кривые $1'$ и $3'$ на рис. 4 отражают их возможности по снижению расходов).

Собственнику объекта известны затраты на его защиту и потери от пропущенных атак. По ним можно оценить направление совершенствования системы противодействия для обеспечения оптимального значения P_a .

Ограничение описанного подхода – положение и форма представленных на рис. 4 кривых, отражающих расходные статьи, зависят от многих факторов, динамика их изменения превышает реальные возможности по модернизации систем противодействия угрозам.

Необходимо располагать прогнозной информацией об интенсивности террористической деятельности и условиях ее проведения в ближайшей перспективе, чтобы учитывать эти данные при разработке технологий рассматриваемого назначения. Подход для получения такой информации развивается в настоящей статье.

Теоретический анализ

Обобщенную модель, позволяющую решить поставленную задачу, можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= \left[f_1 \left(\text{ВВП}, \frac{Д}{Р} \right) - f_2 \left(\frac{НЗ_{90}}{НЗ_t} \right) - \frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_2 \beta_2} \cdot \gamma N_2 \right] \cdot N_1(t); \\ \frac{dN_2}{dt} &= \left[f_3 \left(\frac{ЗТ}{П} \right) - f_4 \left(\frac{ЗП}{Д} \right) + \frac{\alpha_2 \beta_2}{\alpha_1 \beta_1} \cdot \gamma N_1 \right] \cdot N_2(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где N_1 – число нападений на защищаемый объект; ВВП – валовой внутренний продукт на душу населения в прошедшем году; $Д/Р$ – отношение среднего дохода от проведенной операции к расходу на ее проведение; $НЗ_{90}/НЗ_t$ – отношение нравственного здоровья населения страны (региона) соответственно в 90-й и текущий годы; α_1, β_1 – соответственно уровень квалификации и технической оснащенности нападающей стороны; α_2, β_2 – соответственно уровень квалификации и технической оснащенности защитников; ЗП – зарплата защитников; γ – коэффициент взаимодействия защитников и нападающих, находящийся в обратной зависимости от размера/протяженности/площади защищаемого объекта; N_2 – численность защитников объекта; ЗТ – затраты на защиту объекта, П – суммарные потери от нападений на защищаемый объект.

ВВП характеризует бедность общества, функция $f_1(\text{ВВП} = \text{const}, Д/Р)$ – долю населения, готовую пойти на правонарушение в зависимости от ожидаемого дохода и имеющего достаточный уровень знаний для совершения преступления в рассматриваемой сфере деятельности. Очевидно, при $(Д/Р) \leq 1$ значение функции $f_1(\text{ВВП} = \text{const}, Д/Р) = 1$ (нет смысла в проведении операции без получения какой-либо прибыли; фактор «мести» во внимание не принимается). Кривая $f_1(\text{ВВП} = \text{const}, Д/Р)$ имеет область насыщения, когда исчерпывается ресурс членов общества, способных совершить правонарушение заданного вида. Для сообществ, характеризующихся разным соотношением ограничивающих факторов, форма кривой сохраняется, изменяются ее коэффициенты:

$$\begin{aligned} f_1(\text{ВВП} = \text{const}, Д/Р) &= \\ &= a_1 / (1 + b_1 \exp(-c_1 Д/Р)), \end{aligned}$$

где a_1 – коэффициент, определяющий часть общества, потенциально готовую перейти в стан правонарушителей из корыстных интересов. Коэффициенты a_1, b_1, c_1 определяются экспертными технологиями с учетом полученного в предшествующем году ВВП.

Функция $f_2(НЗ_{90}/НЗ_t) = (НЗ_{90}/НЗ_t) f_1(Д/Р)$ характеризует законопослушность населения, его культурный уровень и законодательную базу по борьбе с соответствующим видом преступлений. $НЗ_t$ выступает в роли интегрального показателя, оцениваемого по данным государственной статистики (по показателям, характеризующим социальное напряжение в обществе). Функции f_3, f_4 являются частными случаями логистических кривых.

Очевидно, что затраты на защиту объекта ЗТ будут тем больше, чем больше N_2 . Суммарные потери от атак П увеличиваются с ростом числа нападений, т.е. с ростом N_1 .

Один из возможных вариантов функции $f_3(ЗТ, П, N_1, N_2)$, учитывающий ее логистический характер:

$$f_3 = \frac{a_3 \exp\left(\frac{\Pi N_1}{3T \cdot N_2} b_3 - c_3\right)}{\left(1 + \exp\left(\frac{\Pi N_1}{3T \cdot N_2} b_3 - c_3\right)\right)}$$

где a_3, b_3, c_3 – коэффициенты формы кривой.

По регистрируемому $dN_1(t)/dt$, текущим расходам на защиту объекта и потерям от нападений на него, значению Д/Р, определяемому по опросу населения прилегающих к объекту территорий, и отслеживаемому отношению N_{30}/N_3 дается оценка состояния защиты и отличие ее от оптимальной (равенство расходов на защиту и потерь от атак на объект). По этой оценке определяются требования к вероятностям обнаружения атак и ложной тревоги, которые должна обеспечивать служба безопасности объекта.

Частный случай, вытекающий из модели (1) и отражающий взаимодействие в системе «террорист – система защиты магистрального продуктопровода – полиция», можно представить в виде системы четырех уравнений [27]:

$$\begin{aligned} \frac{dN_{\Pi}}{dt} &= r_{\Pi 0} \left(1 - \frac{N_{\Pi}}{N_{\Pi 0} N_{\Pi \max}}\right) N_{\Pi} - \\ &\quad - \alpha_{\Pi} P_a m_{\Pi} P_M N_{\Pi} N_M + r_{\Pi 2}; \\ \frac{dN_B}{dt} &= \alpha_{\Pi} \left(\frac{N_{\Pi}}{g_{\Pi}} - N_{\Pi}\right) - \frac{N_{\Pi}}{g_{\Pi}} P_a \alpha_{\Pi}; \\ \frac{dN}{dt} &= r_{s0} \left(\frac{D_B(-t_s)}{b_B D_0}\right)^{k_{s1}} - r_{s1} \left(\frac{D_s}{b_s D_B(-t_s)}\right)^{k_{s2}}; \\ \frac{dN_M}{dt} &= \frac{N_{\Pi}(-t_M)}{g_{\Pi}} P_B(-t_M) \alpha_{\Pi} r_{M0} - \\ &\quad - r_{M1} N_M + r_{M2} N_{\Pi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $N_{\Pi}(t)$ – количество терактов в момент времени t ; N_B – количество атак на объект; N_3 – число элементов защиты трубопровода;

N_M – численность сотрудников полиции, привлеченных к расследованию преступной деятельности на магистральных трубопроводах; $r_{\Pi 0}$ – коэффициент распространения информации между членами социума («вирусный» фактор) [28]; $N_{\Pi m}$ – емкость среды, в которой будет распространяться «идея хищения продукта» [29]; α_{Π} – среднее число выходов группы террористов на объект атаки в единицу времени; P_a – вероятность обнаружения атаки; m_{Π} – вероятность задержания террористов; P_M – вероятность вынесения обвинительного приговора задержанным террористам; $r_{\Pi 2}$ – коэффициент прироста числа приверженцев идеи хищения продукта; g_{Π} – средний размер группы террористов; r_{s0}, r_{s1} – коэффициенты прироста и снижения затрат на защиту объекта; k_{s0}, k_{s1} – коэффициенты стратегии защиты, определяющие предельные значения вероятностей пропуска атак и ложных решений используемой системы защиты объекта; D_B – потери от атаки в момент времени t_s ; D_s – расходы на защиту объекта; b_B – потери доли доходов от эксплуатации объекта в результате атаки; b_s – отношение потерь от атак к затратам на защиту объекта; t_M – время задержки реагирования структур полиции на зарегистрированную атаку; r_{M0}, r_{M1} – соответственно коэффициент прироста и сокращения числа сотрудников полиции, привлеченных к расследованию фактов атак на защищаемый объект; r_{M2} – коэффициент прироста сотрудников полиции при изменении активности в сбыте похищенного продукта.

Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент проведен на примере Самарской области в связи с наличием опубликованных данных, охватывающих сравнительно протяженный период времени. По территории Самарской области проходят 24 магистральных нефтепровода и 4 нефтепродуктопровода протяженностью около 4 тыс. км,

эксплуатирующихся организациями системы «Транснефть» («Приволжнефтепровод» – 1,837 тыс. км, ОАО «Северо-Западные МН» – 965 км, нефтепровод «Дружба» – 538 км, 2 дочерних общества «Транснефтепродукта» – «Юго-Запад транснефтепродукт» – 366 км и «Уралтранснефтепродукт» – 228 км). В среднем за год по территории Самарской области перекачивается свыше 310 млн т нефти и нефтепродуктов.

Хищения нефти в Самарской области приняли значительный масштаб. По словам сотрудника охраны нефтепровода, в начале 2000-х на карте нефтепровода по Самарской области, где красными точками обозначались врезки в трубу, не было пустого места. Только за 1 год было похищено около 1 млн т нефти. В 2010 г. было зафиксировано 44 врезки. Затем после того, как «Транснефть» установила системы контроля, масштабы воровства нефти сократились [30], и в 2011 г. зафиксировано 23 врезки. К 2012 г. резко возросло число сообщений в СМИ о врезках в нефтепроводы. Наибольшее число сообщений приходилось на Иркутскую, Ленинградскую, Самарскую области.

В 2012 г. Самарская область стала общероссийским лидером по числу криминальных врезок в магистральные трубопроводы. В 2012 г., по данным «Транснефти», в Самарской области было зафиксировано 34 криминальных посягательства на магистральные трубопроводы.

Во всех регионах в это время число врезок сократилось, а в Самарской области выросло на 67,4 %. С начала 2013 г. в Самарской области было выявлено 55 незаконных врезок в нефтепроводы и 26 – в магистральные трубопроводы. По итогам 2013 г. Самарская область заняла первое место в России по объемам хищения нефти из магистралей.

С 2003 по 2013 г. в регионе обнаружена почти четверть криминальных врезок в трубопроводную систему от общего числа врезок, выявленных на территории России, а именно 1651 несанкционированная врезка. А вот в 2014 г. количество несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы снизилось до 17. По данным [31], в 2015 г. было выявлено 32 несанкционированных врезки в магистральные трубопроводы, а к октябрю 2016 г. – 24 случая врезок в нефтепроводы.

Адекватность модели (2) проверена сопоставлением результатов моделирования процесса «врезного терроризма» в Самарской области с реальными данными, представленными в опубликованных материалах за период с 2010 по 2016 г.

Долгосрочные прогнозы, основанные на применении рассматриваемой модели, предсказывают новый цикл значительного роста террористических атак на магистральные трубопроводы с последующим спадом к концу третьего десятилетия (рис. 5).

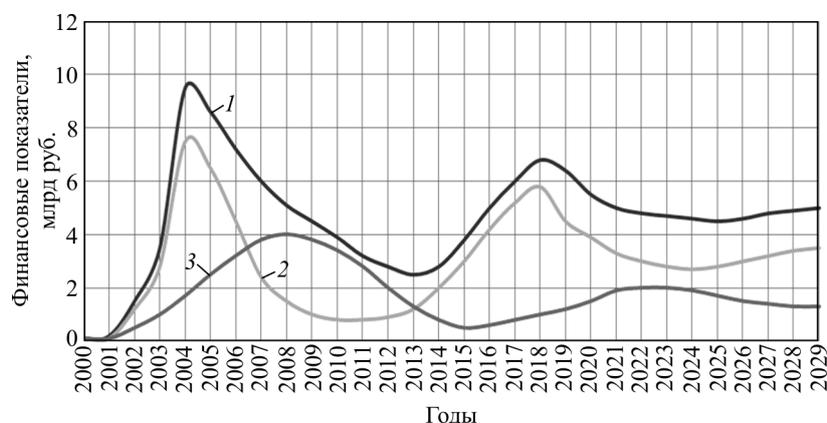


Рис. 5. Прогноз финансовых показателей противоборства сторон до 2029 г. при сохранении текущего уровня вероятности обнаружения атак системами защиты: 1 – годовые суммарные затраты, млрд руб.; 2 – годовой ущерб от врезок, млрд руб.; 3 – годовые расходы на защиту, млрд руб.

Информация о фактических затратах на защиту и о размерах потерь от врезок носит закрытый характер. Поэтому данные на рис. 5 отражают тенденции расходов на защиту и ущерб от хищений продукта при условно взятых цифрах в начальный момент времени (2000 г.). Другие показатели модели соответствуют установленным по Самарской области на тот же момент времени.

Обсуждение результатов. Выводы

Модель (2) позволяет оценить требуемое значение вероятности обнаружения атак P_a . Результаты моделирования одного из сценариев противодействия террористическим атакам (см. рис. 5) позволяют сделать заключение, что в 2013 г. наблюдался наиболее благоприятный момент в организации защиты трубопроводного транспорта. Начиная с этого момента следовало бы увеличить расходы на защиту объектов, чтобы предотвратить рост суммарных затрат в ближайшей перспективе.

Эффективность предложенного подхода по определению требований к системам защиты объектов от террористических угроз

продемонстрирована на примере Самарской области. Выбор региона определился наличием опубликованных данных, охватывающих сравнительно протяженный период времени, необходимых для постановки вычислительного эксперимента. Представляет интерес получать прогнозные оценки в этом сегменте экономики для страны в целом.

Наличие такой информации позволит сформировать политику по обнаружению террористических атак и определиться с требованиями к системе физической защиты, которые необходимо обеспечить в текущий период и в ближайшей перспективе.

На сегодняшний день не просматривается возможность эффективного противодействия подготовленным нарушителям по достижению поставленных ими целей с помощью любых из известных односенсорных систем. Следует определиться с составом многосенсорных систем. Комбинация виброакустической и сейсмоаналитической подсистем позволяет компенсировать наиболее значимые недостатки каждой из них.

Библиографический список

1. Цвяк А.В. Экологические последствия несанкционированных врезок в нефтепроводы и методы борьбы с ними // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 445–447.

2. В Самарской области нефтеврезчики откачали в одном месте почти 7000 тонн «черного золота» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.trkterra.ru/tag/neftevrezka> (дата обращения: 08.08.2018).

3. Об итогах совещания ПАО «Транснефть», представителей руководства правоохранительных, контролирующих и надзорных органов г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области 22 ноября 2016 года [Электронный ресурс]. – URL: (<http://www.lenoblinform.ru/>

[news/Transneft-221116.html](http://www.lenoblinform.ru/news/Transneft-221116.html) (дата обращения: 08.08.2018).

4. Алексенко К.С., Федотова Н.С. Мониторинг и оценка утечек на нефтепроводах [Электронный ресурс] // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLVIII междунар. студ. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2016. – № 11(47). – URL: [https://sibac.info/archive/technic/11\(47\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/11(47).pdf) (дата обращения: 12.05.2017).

5. Материалы ежегодных отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (2007–2016 гг.) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (дата обращения: 12.05.2017).

6. Бронников Д.А., Комаров В.А., Нигрей А.А. Обеспечение безопасности магистральных продуктопроводов от террористических угроз: взгляд на решение проблемы // Новая наука: стратегии и векторы развития: сб. статей по итогам междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. Ч. 2. – Стерлитамак: АМИ, 2016. – С. 155–159.

7. System and method for detecting, locating and discerning an approach towards a linear installation: пат. 0251343 A1 США, МПК G01V 1/00 / Ron Zehavi, Yehud. – № 11/107,647; заявл. 14.04.2005; опубл. 10.11.2005; НПК 702/18.

8. System and method for securing an infrastructure: пат. 0096896 A1 США, МПК G08B 19/00 (2006.01) / Virginia Ann Zinglewicz, Helena Goldfarb, Corey Nicholas Bufe, Steven Hector Azzaro, Jeffrey Scott Thetford. – № 11/260,897; заявл. 28.20.2005; опубл. 03.05.2007; НПК 340/522.

9. System and method for generation a threat alert: пат. 0245026 A1 США, МПК H04B 1/10 (2006.01) / Corey Nicholas Bufe, Sahika Genc. – № 12/054,510; заявл. 25.3.2008; опубл. 01.10.2009; НПК 367/135.

10. Система видеонаблюдения за опасным участком магистрального газопровода: пат. 2334163 Российская Федерация, МПК F17D5/00, F16L55/26, G01M3/00 / Хоменко В.И., Винниченко С.А., Молчанов В.В. (РФ). № 2007105552/06; заявл. 14.02.2007; опубл. 20.09.2008.

11. Способ обнаружения места утечки или несанкционированного отбора нефти на линейной части магистрального нефтепровода: пат. 2273888 Российская Федерация, МПК G 08 B 25/10 %F 17 D 5/02 / Ахметов Д.К., Кушнарв В.И., Соломонов Ю.С., Жирухин Ю.Н., Французов В.А. – № 2005131056/11; заявл. 07.10.2005; опубл. 10.04.2006.

12. Geoplace – GEOEurope – Aerial imaging applications in pipeline industry [Электронный ресурс]. – URL: www.geoplace.com/ge/20016070160701pip.asp. (дата обращения: 12.05.2017).

13. Епифанцев Б.Н. Дистанционная диагностика подземных трубопроводов по тепловому излучению // Дефектоскопия. – 2014. – № 3. – С. 28–39.

14. Ozevin Didem, Harding James. Novel leak localization in pressurized pipeline networks using acoustic emission and geometric connectivity // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 2012. – Vol. 92. – P. 63–69. DOI: 10.1016/2012.01.001

15. Epifantsev B.N. An acoustic method for diagnostics of the state of underground pipelines: new possibilities // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2014. – Vol. 50, № 5. – P. 254–257. DOI: 10.1134/S1061830914050039

16. Epifantsev B.N., Pyatkov A.A., Fedotov A.A. Evaluation of the sensitivity of a vibroacoustic detection system for local disturbances of trunk pipeline environmental parameters // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 70–78. DOI: 10.1134/S1061830915020035

17. Комаров В.А., Епифанцев Б.Н. Виброакустический контроль состояния магистральных продуктопроводов: адаптация к изменениям параметров окружающей среды // Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем: аннотированный сборник выпускных квалификационных работ ФГБОУ ВО «СибАДИ»; сост. З.В. Семенова. – Омск. – С. 38–45.

18. Dollar P. et al. Pedestrian detection: an evaluation of the state of the art // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2012. – Vol. 34, № 4. – P. 743–761. DOI: 10.1109/TPAMI.2011.155

19. Епифанцев Б.Н., Пятков А.А., Копейкин С.А. Мультисенсорные системы мониторинга территорий ограниченного доступа: возможность видеоаналитического канала обнаружения вторжений // Компьютерная оптика. – 2016. – № 1. – С. 121–129.

20. Klar A., Linker R. Fiber optic sensing optical fibers detect tunnel-digging [Электронный ресурс] // Laser Focus World: Lasers, Photonics, Optics News & Technology Advances, 2009. – URL: <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-45/issue-4/world-news/fiber-optic-sensing-optical-fibers-detect-tunnel-digging.html> (дата обращения: 12.05.2017).

21. Duckworth G., Ku E. OptaSense (R) distributed acoustic and Seismic sensing using COTS fiber optic cables for Infrastructure Protection and Counter Terrorism // Sensors and command, control, communications and intelligence (с3i) Technologies for homeland security and homeland deference XII. – 2013. – Vol. 8711. – № UNSP87110G. DOI: 10.1117/12.2017712

22. Wang J. FBG intrusion recognition algorithm based on SVM // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 591–593. – P. 1422–1427. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.1422

23. Волоконно-оптическая система мониторинга протяженных объектов (нефтепроводов) на основе когерентного рефлектометра / Е.Т. Нестеров, К.В. Марченко, В.Н. Трещиков, А.В. Леонов // Т-Comm. – 2014. – № 1. – С. 25–28.

24. Шеховцев А.В., Мансуров М.Н., Голубин С.И. Экспериментальные исследования волоконно-оптического метода обнаружения утечек из нефтепроводов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2015. – № 6(52). – С. 30–35.

25. Звездинский С.С. Проблема выбора периметровых средств // Специальная техника. – 2002. – № 4. – С. 36–41.

26. Епифанцев Б.Н., Копейкин С.А. О вероятности обнаружения террористических угроз системами физической защиты магистральных трубопроводов // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 246–252.

27. Епифанцев Б.Н., Пятков А.А. Предупреждение чрезвычайных ситуаций на магистральных продуктопроводах. Часть 1. Обнаружение несанкционированных вторжений в охранную хону продуктопровода. – Омск: СибАДИ, 2013. – 122 с.

28. Bass F.M. A new product growth for model consumer durables // Management Science. – 1969. – P. 215–227. DOI: 10.1287/mnsc.15.5.215

29. Becker G.S. Crime and punishment: an economic approach // The Journal of Political Economy. – 1968. – Vol. 76, № 2. – P. 169–217. DOI: 10.1086/259394

30. Корытина Е. Десять способов украсть нефть в России [Электронный ресурс] // РБК daily, 18.07.2011. URL: <http://www.rbcdaily.ru/2011/07/18/tek/562959980660282> (дата обращения: 12.05.2017).

31. Информационно-аналитические материалы для заседания комиссии по противодействию незаконному обороту промышленной продукции в Самарской области, декабрь 2016 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://samgd.ru/analytics/notes/183926>. (дата обращения: 12.05.2017).

References

1. Tsviak A.V. Ekologicheskie posledstviia nesanktsionirovannykh vrezok v nefteprovody i metody bor'by s nimi [Environmental impact unapproved inserts in the pipeline and methods of combating them]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no.10 (185), pp.445-447.

2. V Samarskoi oblasti neftevezchiki otkachali v odnom meste pochti 7000 tonn “chernogo

zolota” [In the Samara region, oil cutters pumped out almost 7,000 tons of “black gold” in one place], available at: <http://www.trkterra.ru/tag/neftevezka> (accessd 08 August 2017).

3. Ob itogakh soveshchaniia PAO “Transneft”, predstavitelei rukovodstva pravookhranitel'nykh, kontroliruiushchikh i nadzornykh organov g. Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti 22 noiabria 2016 goda [On results of the meeting

of Transneft PJSC, representatives of the leadership of law enforcement, supervisory and supervisory bodies of St. Petersburg and the Leningrad Region on November 22, 2016], available at: <http://www.lenoblinform.ru/news/Transneft-221116.html> (accessed 08 August 2017).

4. Aleksenko K.S., Fedotova N.S. Monitoring i otsenka utechek na nefteprovodakh [Monitoring and evaluation of oil pipeline leaks]. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletia. Tekhnicheskie nauki*, available at: [https://sibac.info/archive/technic/11\(47\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/11(47).pdf) (accessed 12 May 2017).

5. Materialy ezhegodnykh otchetov o deiatel'nosti Federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru (2007–2016 gg.) [Materials of annual reports on activities of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia (2007–2016)], available at: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports (accessed 12 May 2017).

6. Bronnikov D.A., Komarov V.A., Nigrei A.A. Obespechenie bezopasnosti magistral'nykh produktoprovodov ot terroristicheskikh ugroz: vzgliad na reshenie problemy [Ensuring the safety of major pipelines against terrorist threats: a look at the solution of the problem]. *Novaia nauka: strategii i vektory razvitiia. Sbornik statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Sterlitamak, AMI, 2016, part 2, pp.155-159.

7. Ron Zehavi, Yehud. System and method for detecting, locating and discerning an approach towards a linear installation. Patent 0251343 A1 USA, MPK G01V 1/00, no. 11/107,647

8. Virginia Ann Zinglewicz, Helena Goldfarb, Corey Nicholas Bufi, Steven Hector Azzaro, Jeffrey Scott Thetford. System and method for securing an infrastructure. Patent 0096896 A1 USA, MPK G08B 19/00 (2006.01), no. 11/260,897.

9. Corey Nicholas Bufi, Sahika Genc. System and method for generation a threat alert. Patent 0245026 A1 USA, MPK H04B 1/10 (2006.01), no. 12/054,510.

10. Khomenko V.I., Vinnichenko S.A., Molchanov V.V. Sistema videonabliudeniia za opasnym uchastkom magistral'nogo gazoprovoda [System of video surveillance over a dangerous section of the major gas pipeline]. Patent 2334163 Russian Federation, MPK F17D5/00, F16L55/26, G01M3/00; no. 2007105552/06.

11. Akhmetov D.K., Kushnarev V.I., Solomonov Iu.S., Zhirukhin Iu.N., Frantsuzov V.A. Sposob obnaruzheniia mesta utechki ili nesanktsionirovannogo otbora nefiti na lineinoi chasti magistral'nogo nefteprovoda [The method for locating a leak or unauthorized oil withdrawal on the linear part of the main oil pipeline]. Patent 2273888 Russian Federation, MPK7 G 08 B 25/10%F 17 D 5/02; no. 2005131056/11.

12. Geoplace – GEOEurope – Aerial imaging applications in pipeline industry, available at: www.geoplace.com/ge/20016070160701pip.asp (accessed 12 May 2017).

13. Epifantsev B.N. Distantionnaia diagnostika podzemnykh truboprovodov po teplovomu izlucheniiu [Remote diagnostics of underground pipelines for thermal radiation]. *Defektoskopiia*, 2014, no.3, pp.28-39.

14. Ozevin Didem, Harding James. Novel leak localization in pressurized pipeline networks using acoustic emission and geometric connectivity. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 2012, vol.92, pp.63-69. DOI: 10.1016/2012.01.001.

15. Epifantsev B.N. An acoustic method for diagnostics of the state of underground pipelines: new possibilities. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2014, vol.50, no.5, pp.254-257. DOI: 10.1134/S1061830914050039

16. Epifantsev B.N., Pyatkov A.A., Fedotov A.A. Evaluation of the sensitivity of a vibroacoustic detection system for local disturbances

of trunk pipeline environmental parameters. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2015, vol.51, no.2, pp.70-78. DOI: 10.1134/S1061830915020035.

17. Komarov V.A., Epifantsev B.N. Vibroakusticheskii kontrol' sostoianiiia magistral'nykh produktoprovodov: adaptatsiia k izmeneniiam parametrov okruzhaiushchei sredy [Vibro-acoustic monitoring of the state of the major pipelines: adaptation to changes in environmental parameters]. *Kompleksnoe obespechenie informatsionnoi bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem. Annotirovannyi sbornik vypusknnykh kvalifikatsionnykh rabot FGBOU VO "SibADI"*. Omsk, pp.38–45.

18. Dollar P. et al. Pedestrian detection: an evaluation of the state of the art. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, vol.34, no.4, pp.743-761. DOI: 10.1109/TPAMI.2011.155

19. Epifantsev B.N., Piatkov, A.A., Kopeikin, S.A. Mul'tisensornye sistemy monitoringa territorii ogranichennogo dostupa: vozmozhnost' videoanaliticheskogo kanala obnaruzheniia vtorzhenii [Multi-sensor systems for monitoring access to restricted areas: capabilities of the intrusion detection video analytical channel]. *Komp'iuternaia optika*, 2016, no.1, pp.121-129.

20. Klar A., Linker R. Fiber optic sensing optical fibers detect tunnel-digging. *Laser Focus World: Lasers, Photonics, Optics News & Technology Advances*, 2009, available at: <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-45/issue-4/world-news/fiber-optic-sensing-optical-fibers-detect-tunnel-digging.html> (accessed 12 May 2017).

21. Duckworth G., Ku E. OptaSense (R) distributed acoustic and Seismic sensing using COTS fiber optic cables for Infrastructure Protection and Counter Terrorism. *Sensors and command, control, communications and intelligence (c3i) Technologies for homeland security and homeland deference XII*,

2013, vol.8711, no.UNSP87110G. DOI: 10.1117/12.2017712.

22. Wang J. FBG intrusion recognition algorithm based on SVM. *Advanced Materials Research*, 2012, vol.591-593, pp.1422-1427. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.1422

23. Nesterov E.T., Marchenko K.V., Treshchikov V.N., Leonov A.V. Volokonno-opticheskaia sistema monitoringa protiazhenykh ob"ektov (nefteprovodov) na osnove kogerentnogo reflektometra [Fiber-optic monitoring system for long objects (oil pipelines) based on a coherent reflectometer]. *T-Comm*, 2014, no.1, pp.25-28.

24. Shekhovtsev A.V., Mansurov M.N., Golubin S.I. Eksperimental'nye issledovaniia volokonno-opticheskogo metoda obnaruzheniia utechek iz nefteprovodov [Experimental studies of the fiber-optic method for detecting leaks from oil pipelines]. *Truboprovodnyi transport: teoriia i praktika*, 2015, no.6(52), pp.0-35.

25. Zvezhinskii S.S. Problema vybora perimetrovykh sredstv obnaruzheniia [The problem of choosing perimeter detection tools]. *Spetsial'naia tekhnika*, 2002, no.4, pp.36-41.

26. Epifantsev B.N., Kopeikin S.A. O veroiatnosti obnaruzheniia terroristicheskikh ugroz sistemami fizicheskoi zashchity magistral'nykh truboprovodov [On the probability of detecting terrorist threats by physical protection systems of major pipelines]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*, 2016, vol.1, no. 2, pp.246-252.

27. Epifantsev B.N., Piatkov A.A. Preduprezhdenie chrezvychainykh situatsii na magistral'nykh produktoprovodakh. Chast' 1. Obnaruzhenie nesanktsionirovannykh vtorzhenii v okhrannuiu khonu produktoprovoda [Prevention of emergency situations on the major pipelines. Part 1. Detection of unauthorized intrusions into the security zone of the pipeline]. Omsk, 2013, 122 p.

28. Bass F.M. A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 1969, pp.215-227. DOI: 10.1287/mnsc.15.5.215

29. Becker G.S. Crime and punishment: an economic approach. *The Journal of Political Economy*, 1968, vol.76, no.2, pp.169-217. DOI: 10.1086/259394

30. Korytina E. Desiat' sposobov ukrast' neft' v Rossii [Ten ways to steal oil in Russia]. RBK daily, 18.07.2011, available at: <http://www.rbcdaily.ru/2011/07/18/tek/562959980660282> (accessed 12 May 2017).

31. Informatsionno-analiticheskie materialy dlia zasedaniia komissii po protivodeistviuu nezakonnomu oborotu promyshlennoi produktsii v Samarskoi oblasti, dekabr' 2016 g. [Information and analytical materials for the meeting of the commission for combating illegal trafficking of industrial products in the Samara region, December 2016], available at: <http://samgd.ru/analytics/notes/183926>. (accessed 12 May 2017).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Безопасность магистральных трубопроводов в условиях террористических угроз: прогнозные оценки / В.А. Комаров, З.В. Семенова, Е.М. Михайлов, А.А. Нигрей, Д.А. Бронников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т.17, №1. – С.88–100. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.8

Please cite this article in English as:

Komarov V.A., Semenova Z.V., Mikhaylov E.M., Nigrey A.A., Bronnikov D.A. Security of major pipelines in presence of terroristic threats: prognostic estimates. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2018, vol.17, no.1, pp.88-100. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.8