

Ларионов В. И., Гумеров Р. А.,
Новиков П. А., Фролова Н. И.,
Зайнуллина С. Р.

Московский государственный
технический университет им. Н. Э.
Баумана, г. Москва, Российская
Федерация
Центр исследований экстремальных
ситуаций, г. Москва, Российская
Федерация

Институт геоэкологии им. Е. М.
Сергеева Российской академии наук
(ИГЭ РАН), г. Москва,
Российская Федерация
Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

V.I. Larionov, R. A. Gumerov,
P.A. Novikov, N. I. Frolova,
S. R. Zainullina
Bauman Moscow State Technical
University, Moscow, Russian Federation
Extreme Situations Research Center,
Moscow, Russian Federation
Sergeev Institute of Environmental
Geoscience RAS (IEG RAS),
Moscow, Russian Federation
Ufa State Petroleum Technological
University, Ufa, Russian Federation

Сильные землетрясения могут приводить к возникновению взрывов и пожаров на трубопроводах, а также к опасным для окружающей среды утечкам транспортируемых продуктов. В работе представлен методический подход к оценке риска аварий магистральных трубопроводов, пересекающих зоны сейсмической активности, основанный на необходимости корреляции вероятности возникновения аварии на сейсмоопасных участках с частотой возникновения сильных разрушающих землетрясений. При возникновении землетрясения вероятность аварии на трубопроводе зависит от интенсивности события. Частота возникновения землетрясений различной интенсивности на участках местности определяется по картам общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97). Трубопровод разбивается на участки с различной интенсивностью землетрясения в соответствии с картами общего сейсмического районирования. Определяется математическое ожидание длины участков, где возможна авария по картам ОСР-97. Определяются условные вероятности аварий на рассматриваемом трубопроводе при реализации событий по картам ОСР-97. Проводится оценка риска аварий на трубопроводе с учетом возможной опасности по картам.

Подход представлен в виде алгоритма определения рисков аварий трубопроводов на сейсмоопасных участках. Показана матричная форма алгоритма.

Приведен пример расчета риска на магистральном нефтепроводе. Частота аварий магистрального нефтепровода на сейсмоопасных участках определена с учетом интенсивности аварий на трубопроводах по отрасли за последние 5 лет и частоты возникновения землетрясений на участках размещения трубопроводов.

Предложенный метод анализа риска аварий можно использовать для оценки эффективности применения мероприятий по снижению индивидуальных, комплексных и социальных рисков вдоль трубопровода, а также уменьшению показателей технического и экологического риска.

Strong earthquakes can cause fires and explosions on pipelines, as well as the emergence of environmentally dangerous leakages of transported products. This paper presents a methodical approach in assessment of risk of accidents on the pipelines crossing the zones of seismic activity, which is based on the need of correlation of probability of an accident in the earthquake-prone areas with the frequency of occurrence of strong damage causing earthquakes. In case of earthquake the probability of pipeline accident depends on the intensity of the seismic event. The frequency of occurrence of earthquakes of varying intensity in the areas can be determined by the terrain maps of general seismic zoning of Russian Federation territory (GSZ-97). The pipeline is divided into parts with different earthquake intensities in accordance with the general seismic zoning maps. The expected value of the length of the zones with possible accidents is determined by the GSZ-97 maps. The conditional probability of accidents on the considered pipeline in the implementation of the events is also determined by the GSZ-97 maps. The estimation of the risk of accidents on the pipeline is provided by the map-based possible danger.

The proposed approach is represented in the form of algorithm for determining the risk of pipeline accidents in seismic areas. Additionally, the algorithm is presented in matrix form.

An example of the calculation of the risk on the main oil pipeline is considered. The frequency of accidents on the main oil pipeline in seismic areas is defined by accounting the intensity of pipeline accidents in the industry over the past 5 years and the frequency of earthquakes in pipeline zones.

The proposed method of accident risk analysis can be used to assess the effectiveness of measures to reduce the individual, complex and social risks along the pipeline, as well as the reduction of factors of technical and environmental risk.

Ключевые слова: землетрясение, магистральный трубопровод, техногенные аварии, анализ риска, сейсмическое районирование, безопасность, вероятность аварии.

Key words: earthquake, main pipeline, technogenic accidents, risk analysis, seismic zoning, safety, accident risk.

Землетрясения относятся к наиболее опасным внешним воздействиям, которые должны быть учтены при проектировании, строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов. При распространении сейсмической волны в трубе будут возникать инерционные силы, создающие дополнительную нагрузку для нефтепровода и вызывающие сильные деформации трубы, такие как смятия и гофрирования [1]. При низких пластических свойствах материала трубы возможны появления трещин, изло-

мов и даже разрывов нефтепровода [2]. При высокoбалльных землетрясениях возможно возникновение взрывов и пожаров от искр или коротких замыканий, а также утечек, приводящих к загрязнению окружающей среды [3–6].

Ущерб, получаемый трубопроводами, непосредственно зависит от мощности (интенсивности) землетрясения. Интенсивность землетрясений I в конкретной точке земной поверхности определяют по формуле Н.В. Шебалина [7]

$$I = bM - v \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \text{ балл}, \quad (1)$$

где M — магнитуда землетрясения, характеризующая энергию упругих колебаний сейсмических волн; D — эпицентральное расстояние, характеризующее удаленность от проекции очага на земную поверхность, км; h — глубина гипоцентра (очага) землетрясения, км; b, n, c — региональные константы, значения ко-

торых различны для отдельных регионов. В России сейсмическую интенсивность как интегральную статистическую меру воздействия принято измерять по 12-балльной шкале Медведева-Шпонхойера-Карника MSK-64 [8].

Магистральные трубопроводы относятся к объектам повышенной ответственности с нормативным сроком службы 30 лет. При строительстве подобных объектов следует использовать карты сейсмического районирования ОСР-97 [8, 9]. Сейсмостойкое проектирование учитывает два уровня сейсмичности: проектного землетрясения (отсутствие повреждений) и максимально расчетного землетрясения (повреждения, вызывающие изгибные деформации, но не приводящие к разрыву трубы). Для первого уровня применяется комплект карт ОСР-97-В (учитываются землетрясения с периодом повторяемости 1 раз в 1000 лет с возможным превышением расчетной интенсивности в течение 50 лет с вероятностью в 5%), для второго уровня — комплект карт ОСР-97-С (период повторяемости землетрясений в 5 раз меньше). Аналогичный подход применяется и за рубежом. Так, в [10] выделены 4 класса трубопроводов по степени ответственности, где трубопроводы III класса, повреждение и разрушение которых приводит к существенному экономическому ущербу, проектируются с учетом сейсмических воздействий с периодом повторяемости 975 лет, что примерно соответствует карте ОСР-97-В.

Основными показателями оценки эффективности мероприятий по повышению безопасности магистральных нефтепроводов являются частота аварий и показатели снижения технического риска.

Метод анализа риска аварий магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках. Частоту аварий магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках следует определять с учетом интенсивности аварий на трубопроводах по отрасли и частоты возникновения землетрясений на участках размещения трубопроводов.

Различные аспекты анализа риска трубопроводов широко представлены в научной, методической и нормативной литературе [11–13].

Частоту аварий магистральных трубопроводов по отрасли оценивают на основе среднестатистической информации интенсивности аварий за последние 5 лет (таблица 1).

Согласно статистической информации, частота аварий на магистральных нефтепроводах составляет $\lambda_{ct} = 4 \cdot 10^{-5}$ ав./км·год.

Риск возникновения события-аварии за время t определяется частотой (интенсивностью) возникновения события l_{ct} , ав./км·год. При $l_{ct} = \text{const}$ справедливым считается экспоненциальный закон распределения событий-аварий [14]

$$R_{ct} = P_A(t) = 1 - e^{-\lambda_{ct} t}, \quad (2)$$

где $P_A(t)$ — вероятность события A , равная $P_A(t) = \lambda_{ct} t$ при $\lambda_{ct} t < 0,01$.

В практике анализа риска рассматривается время t , равное одному году. Поскольку $\lambda_{ct} = 4 \cdot 10^{-5} < 0,01$, принимается

$$P_A(t) = \lambda_{ct}, \quad (3)$$

то есть видна связь анализируемых величин: вероятности события $P_A(t)$ и его частоты λ_{ct} .

В соответствии с теорией анализа риска вероятностную величину возникновения аварии, отнесенную к единице времени (году), можно называть риском аварии R_{ct} . Таким образом, на основе статистических данных риск аварии на магистральных нефтепроводах за 2011–2015 гг. равен $R_{ct} = 4 \cdot 10^{-5}$ ав./км·год.

Риски аварий трубопроводов на сейсмоопасных участках предлагается определять по следующему алгоритму.

1. Оценка риска аварий на сейсмоопасных участках коррелируется с частотой возникновения сильных (ущербообразующих) землетрясений. Частота возникновения землетрясений различной интенсивности на участках местности определяется по картам ОСР-97 (таблица 2).

2. При возникновении землетрясения вероятность аварии на трубопроводе определяется в зависимости от интенсивности события (таблица 3) [4].

3. Трубопровод разбивается на участки с различными интенсивностями землетрясения в соответствии с картами общего сейсмического районирова-

Таблица 1. Частота аварий на магистральных нефтепроводах за 2011–2015 гг.

Годы	Количество аварий, ед.	Протяженность, тыс. км
2011	2	51,0
2012	5	54,9
2013	2	55,0
2014	0	54,9
2015	1	54,9
Итого за 5 лет	10	270,7

Таблица 2. Частота возникновения землетрясений

Карты ОСР-97	Период повторяемости сейсмического события, лет	Частота землетрясений, земл./год
А	500	$f_A = 0,002$
В	1000	$f_B = 0,001$
С	5000	$f_C = 0,0002$

Таблица 3. Условная вероятность аварий на трубопроводах при землетрясениях

Интенсивность землетрясения, балл (MSK-64)	Вероятность	Интенсивность землетрясения, балл (MSK-64)	Вероятность
7	$P(T/C_7)=0,05$	9	$P(T/C_9)=0,75$
8	$P(T/C_8)=0,15$	10	$P(T/C_{10})=0,95$

Примечание: условные вероятности $P(T/C_7)$, $P(T/C_8)$, $P(T/C_9)$, $P(T/C_{10})$ — вероятности наступления события T (авария на трубопроводе) при условии, что событие C (землетрясение с интенсивностью 7–10 баллов) уже произошло.

ния ОСР-97.

4. Определяется математическое ожидание длин участков, где возможны аварии при интенсивностях, принятых по картам А, В и С:

$$\begin{aligned}
 M_A &= L_{A7} P(T/C_7) + L_{A8} P(T/C_8) + \\
 &+ L_{A9} P(T/C_9) + L_{A10} P(T/C_{10}); \\
 M_B &= L_{B7} P(T/C_7) + L_{B8} P(T/C_8) + \\
 &+ L_{B9} P(T/C_9) + L_{B10} P(T/C_{10}); \\
 M_C &= L_{C7} P(T/C_7) + L_{C8} P(T/C_8) + \\
 &+ L_{C9} P(T/C_9) + L_{C10} P(T/C_{10}),
 \end{aligned} \quad (4)$$

где L_{A7} , L_{A8} , L_{A9} , L_{A10} ; L_{B7} , L_{B8} , L_{B9} , L_{B10} ; L_{C7} , L_{C8} , L_{C9} , L_{C10} — протяженности участков трубопровода с сейсмичностью 7–10 баллов соответственно по картам ОСР-97 (А, В, С).

5. Вычисляются условные вероятности аварий на рассматриваемом трубопроводе при реализации событий по картам ОСР-97 (А, В, С):

$$\begin{aligned}
 P(T/A) &= M_A/L_T; \\
 P(T/B) &= M_B/L_T; \\
 P(T/C) &= M_C/L_T,
 \end{aligned} \quad (5)$$

где событие T — авария на трубопроводе; события А, В, С заключаются в обязательном выполнении условия, что они произошли в соответствии с картами А, В и С; L_T — общая длина трубопровода.

6. Проводится оценка риска аварий на трубопроводе с учетом возможности опасности по картам А, В, С

$$\begin{aligned}
 R_{SA} &= f_A P(T/A); \\
 R_{SB} &= f_B P(T/B); \\
 R_{SC} &= f_C P(T/C),
 \end{aligned} \quad (6)$$

где f_A, f_B, f_C — частоты возникновения землетрясений, земл./год (таблица 2).

7. Риск аварии на трубопроводе от сейсмического воздействия принимается равным максимальному значению

$$R_S = \max [R_{SA}, R_{SB}, R_{SC}]. \quad (7)$$

8. В предположении независимости событий вычисляется интегральный риск аварий магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках

$$R_{ав} = 1 - (1 - R_{ct})(1 - R_S) \approx R_{ct} + R_S \quad (8)$$

Рассмотренный алгоритм определения рисков аварий трубопроводов на сейсмоопасных участках для удобства вычислений можно представить в матричной форме.

Значения условных вероятностей аварий на трубопроводах при землетрясениях (таблица 3) запишем в виде вектора

$$\{S\} = \{s_7 \ s_8 \ s_9 \ s_{10}\}^T, \quad (9)$$

где $N_{ii} = 4$ — количество рассматриваемых вариантов интенсивности землетрясений.

Введем матрицу длин участков с различной интенсивностью землетрясения в соответствии с картами ОСР

$$[L] = \begin{bmatrix} L_{A7} & L_{A8} & L_{A9} & L_{A10} \\ L_{B7} & L_{B8} & L_{B9} & L_{B10} \\ L_{C7} & L_{C8} & L_{C9} & L_{C10} \end{bmatrix} \quad (10)$$

и диагональную матрицу частот возникновения землетрясений

$$[F] = \begin{bmatrix} f_A & 0 & 0 \\ 0 & f_B & 0 \\ 0 & 0 & f_C \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где $N_k = 3$ — количество рассматриваемых карт.

Вектор-столбец математических ожиданий длин участков, на которых возможна авария по картам общего сейсмического районирования, определяется произведением

$$\{M\} = [L] \{S\}. \quad (12)$$

Соответствующий вектор-столбец условных вероятностей аварий находится из следующего соотношения:

$$\{P\} = \{M\} / L_T. \quad (13)$$

Вектор-столбец риска аварий на трубопроводе с учетом возможной опасности по картам равен

$$\{R\} = [F] \{P\}, \text{ ав./км}\cdot\text{год}. \quad (14)$$

Для анализа принимается наибольшее значение риска, то есть риск аварии на трубопроводе от сейсмического воздействия принимается равным

$$R_S = \max_{i=1}^{N_k} (R_i), \text{ ав./км}\cdot\text{год}. \quad (15)$$

Пример оценки риска аварий на сейсмоопасных участках и эффективности мероприятий по повышению сейсмостойкости трубопровода. Рассмотрим применение метода оценки риска аварий на примере действующего магистрального нефтепровода ВСТО–1. Сейсмичность участков, где размещен трубопровод, приведена в таблице 4.

По формуле (4) определялись математические ожидания длин участков, где возможны аварии (по картам А, В и С):

$$\begin{aligned}
 M_A &= 400 \cdot 0,05 + 150 \cdot 0,15 = 42,5 \text{ км}; \\
 M_B &= 150 \cdot 0,05 + 400 \cdot 0,15 + 50 \cdot 0,75 = 105 \text{ км}; \\
 M_C &= 925 \cdot 0,05 + 175 \cdot 0,15 + 350 \cdot 0,75 + 75 \cdot 0,95 = 406,25 \text{ км}.
 \end{aligned}$$

Риски аварии на трубопроводе на основе карт ОСР-97 (А, В, С) составят:

$$R_{SA} = 3,148 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км}\cdot\text{год};$$

Таблица 4. Протяженность сейсмоопасных участков ВСТО–1, км

Карты ОСР-97	Интенсивность землетрясения, балл			
	7	8	9	10
А	400	150	—	—
В	150	400	50	—
С	925	175	350	75

$$R_{SB} = 3,889 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км.год};$$

$$R_{SC} = 3,009 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км.год}.$$

Риск аварии на трубопроводе от сейсмического воздействия равен максимальному значению $R_S = 3,889 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км.год}$.

Риск аварии с учетом статистической информации и сейсмического воздействия, равен $R_{ав} = 1 - (1 - 4 \cdot 10^{-5})(1 - 3,889 \cdot 10^{-5}) = 7,889 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км.год}$.

Эффективность мероприятий по повышению сейсмостойкости трубопровода определяется на основе сопоставления показателей риска до и после проведения мероприятий по снижению рисков. При выполнении мероприятий рекомендуется толщину труб принимать из условия прочности в зависимости от интенсивности землетрясений. В рассматриваемом случае риск аварий до проведения мероприятий составляет $R_{ав} = 7,889 \cdot 10^{-5} \text{ ав./км.год}$, а после проведе-

ния мероприятий — $R_{ав(м)} = 4 \cdot 10^{-5}$.

Эффективность проведения мероприятий по снижению рисков составит

$$\begin{aligned} \Theta_R &= \frac{R_{ав} - R_{ав(м)}}{R_{ав}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{7,889 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-5}}{7,889 \cdot 10^{-5}} \cdot 100\% = 49,3\%. \end{aligned}$$

Выводы

Развита теория анализа риска магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках. Предложенный метод анализа риска аварий можно использовать для оценки эффективности применения мероприятий по снижению индивидуальных, комплексных и социальных рисков вдоль трубопровода и уменьшению показателей технического и экологического риска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности / Ш. Г. Напетваридзе, А. С. Гехман, Б. В. Спиридонов, Т. Р. Рашидов [и др.]. М.: Наука, 1980. 170 с.

2 Гехман А. С., Зайнетдинов Х. Х. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1986. 180 с.

3 Оценка сейсмостойкости магистральных нефтепроводов / А. А. Александров, В. А. Котляревский, В. Ч. Кушнарев [и др.] // Энциклопедия безопасности. Строительство, промышленность, экология : в 3-х т. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений / В. А. Котляревский, В. И. Ларионов, С. П. Сушев; под ред. В. А. Котляревского. М.: АСВ, 2010. Т. 3. С. 132–164.

4 Уязвимость инженерных сооружений при землетрясениях / В. И. Ларионов, В. А. Котляревский, С. П. Сушев, В. А. Акатьев // Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3-х т.: Сейсмостойкость и теплозащита сооружений / В. А. Котляревский, В. И. Ларионов, С. П. Сушев; под ред. В. А. Котляревского. М.: АСВ, 2010. Т. 3. С. 165–184.

5 Александров А. А., Ларионов В. И., Гумеров Р. А. Методы анализа сейсмического риска с учетом вторичных техногенных аварий на объектах нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов / ИПТЭР. 2014. № 4(98). С. 165–175.

6 Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях: пер. с англ. / под ред. А. Б. Фадеева, М. Б. Лисюка / НПО «Госреконструкция-Фундаментпроект». СПб., 2006. 384 с.

7 Шебакин Н. В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 95–121.

8 СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* / Минстрой России. Введ. 01.06.2014. М., 2014. 131 с.

9 Уломов В. И., Богданов М. И. Новый комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР–2012) // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 30–39.

10 American Lifelines Alliance: Guidelines for Assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. 2005. 55 p. Режим доступа: <http://www.americanlifelinesalliance.com/pdf/PipeguideFinalPosted061705.pdf>, дата обр. 12.07.2016.

11 Оценка риска аварий на линейной части магистральных нефтепроводов / М. В. Лисанов, А. С. Печеркин, В. И. Сидоров [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 1998. № 9. С. 50–56.

12 Единая научно-методическая база прогнозирования чрезвычайных ситуаций / В. И. Ларионов, Г. М. Нигметов, С. Е. Попов [и др.] // Теоретические основы реагирования на чрезвычайные ситуации: учеб. пособие / Под ред. В. И. Ларионова. М.: Изд-во ВИУ, 1999. Ч. 1. С. 10–115.

13 Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Руководящий документ: Сер. 27, вып. 1 / ОАО «АК «Транснефть». М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2002. 118 с.

14 Гумеров Р. А. Оценка сейсмической уязвимости магистральных трубопроводов с учетом дефицита информации // Энергоэффективность. Проблемы и решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф., Уфа, 23 октября 2014 г. / ИПТЭР. Уфа, 2014. С. 213–214.

REFERENCES

1 Napetvaridze Sh. G., Gehman A. C., Spiridonov B. V., Rashidov T. R. [i dr.] *Seysmostoykost' magistral'nyh truboprovodov i special'nyh sooruzheniy nefyanoj i gazovoy promyshlennosti*. [Earthquake resistance of trunk pipelines and special facilities of the oil and gas industry]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 170 p. [in Russian].

2 Gehman A. S., Zaynetdinov H. H. *Raschet, konstruirovaniye i ekspluatatsiya truboprovodov v seysmicheskikh rayonah* [Calculation, construction and operation of pipelines in seismic areas]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 180 p. [in Russian].

3 Aleksandrov A. A., Kotlyarevskiy V. A., Kushnarev V. Ch. [i dr.] *Ocenka seysmostoykosti magistral'nyh nefteprovodov. Enciklopediya bezopasnosti. Stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3 t. T. 3: Seysmostoykost' i teplozashhita sooruzheni: pod red. V. A. Kotlyarevskogo*. [Evaluation of the earthquake resistance of the main oil pipelines. Encyclopedia security. Construction, industry, ecology: Earthquake resistance and heat retention structures] Moscow, ASV Publ., 2010, vol. 3, pp. 132–164. [in Russian].

4 Larionov V. I., Kotlyarevskiy V. A., Sushchev S. P., Akat'ev V. A. Uyzavimost' inzhenernykh sooruzheniy pri zemljetraseniyah. *Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3 t. Vol. 3: Seysmostoykost' i teplozashhita sooruzheniy: pod red. V. A. Kotlyarevskogo.* [The vulnerability engineering structures in earthquakes. Encyclopedia security. Construction, industry, ecology: Earthquake resistance and heat retention structures] Moscow, ASV Publ., 2010, vol. 3, pp. 165–184. [in Russian].

5 Aleksandrov A. A., Larionov V. I., Gumerov R. A. Seismic risk analysis methods, taking into account secondary technogenic accidents at facilities of the oil and gas complex. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov - Collection, production and transportation of oil and oil products*, IPTER, 2014, no. 4(98), pp. 165–175. [in Russian].

6 Ishihara K. *Povedenie grunтов pri zemletrjaseniyah: per. s angl.: pod red. A. B. Fadeeva, M. B. Lisyuka* [Behavior of soils under earthquake] NPO «Gosrekonstrukciya-Fundamentproekt», St. Petersburg, 2006. 384 p.

7 Shebalin N.V. *Metody ispol'zovaniya inzhenerno-seysmologicheskikh dannykh pri seysmicheskom rayonirovani. Seysmicheskoe rayonirovanie SSSR.* [How to use engineering seismological data when seismic zoning. Seismic zoning of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 95–121. [in Russian].

8 SP 14.13330.2014. Construction in seismic areas. The updated revision of snip II-7-81 */Russia Consultations. Enter. 01.06.2014. Moscow, 2014. 131 p. [in Russian].

9 Ulomov V.I., Bogdanov M. I. A new set of maps General seismic zoning of the territory of the Russian Federation (SRF-2012). *Inzhenernye izyskanija - Engineering survey*, 2013, no. 8, pp. 30–39. [in Russian].

10 American Lifelines Alliance: Guidelines for Assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. 2005. 55 p.

Available at: <http://www.americanlifelinesalliance.com/pdf/PipeguideFinalPosted061705.pdf> (accessed 12.07.2016).

11 Lisanov M.V., Pecherkin A. S., Sidorov V. I. [i dr.]. Assessment of the risk of accidents on the linear portion of the trunk pipelines. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti - Work safety in industry*. 1998, no. 9, pp. 50–56. [in Russian].

12 Larionov V. I., Nigmatov G. M., Popov S. E. [i dr.]. *Edinaya nauchno-metodicheskaya baza prognozirovaniya chrezvychaynykh situaciy: Teoreticheskie osnovy reagirovaniya na chrezvychaynye situacii: ucheb. posobie. Ch. 1: Pod red. V.I. Larionova.* [A single scientifically-methodical base forecasting emergencies. The theoretical basis for responding to emergencies] Moscow, VIU Publ., 1999, pp. 10–115. [in Russian].

13 Methodological guide for assessing the degree of risk of accidents on pipelines: guidance document. Ser.27, ISS. 1 OAO Transneft. PM: SUE STC «industrial safety» Gosortekhnadzor of Russia, Moscow, GUP NTC «Promyshlennaya bezopasnost'» Gosortekhnadzora Rossii, 2002. 118 p. [in Russian].

14 Gumerov R. A. [Seismic vulnerability assessment of trunk pipelines, given a lack of information] *Energoeffektivnost'. Problemy i resheniya: mater. XIV Vseros. nauch.-prakt. konf., Ufa, 23 oktyabrya 2014 g.* [Energy efficiency. Problems and solutions: proceedings of XIV All. researcher-Scient., conf.] IPTER. Ufa, 2014, pp. 213–214. [in Russian].

Ларионов В. И., д-р техн. наук, профессор, заместитель директора Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация
V. I. Larionov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy director of the Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

e-mail: lar@esrc.ru

Гумеров Р. А., программист отдела моделирования и программирования ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций», г. Москва, Российская Федерация

R. A. Gumerov, Programmer of the Department of Modeling and Programming, Extreme Situations Research Center, Moscow, Russian Federation

e-mail: gumerus@mail.ru

Новиков П. А., ведущий инженер Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация
P. A. Novikov, Leading engineer of the Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

e-mail: novikov-p-a@yandex.ru

Фролова Н. И., канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник сейсмологического центра Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН), г. Москва, Российская Федерация
N.I. Frolova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher of the Seismological Center, Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow, Russian Federation

e-mail: FrolovaNI@esrc.ru

Зайнуллина С. Р., студент группы ММО31-15-01 кафедры «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация

S. R. Zainullina, Student of ММО31-15-01 Group of the Chair «Technological machines and equipment» FSBEI HE USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: svetlana311@bk.ru