

ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

А.А. Александров¹, Р.А. Гумеров²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: rector@bmstu.ru

²ООО “Центр исследований экстремальных ситуаций”,
Москва, Российская Федерация
e-mail: gumerus@mail.ru

Предложена технология автоматизированной оценки напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода на основе данных Геофизической службы Российской академии наук. Представлен вариант ее реализации — программный комплекс, включающий в себя программно-расчетный модуль и географическую информационную систему. Рассмотрены эксплуатационные нагрузки и воздействия на трубопровод. Проанализированы напряжения, возникающие в трубе при прохождении сейсмической волны, а также напряжения, появляющиеся при эксплуатационных нагрузках. Разработан метод определения напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода при сейсмическом воздействии. Представленные методы и программные средства позволяют реализовать системный подход к комплексному анализу прочности магистрального трубопровода при сейсмических воздействиях и планированию инженерных мероприятий по обеспечению безопасной и надежной эксплуатации магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, сейсмическое воздействие, напряженно-деформированное состояние, служба срочных донесений, географическая информационная система.

TECHNOLOGY OF ASSESSMENT OF THE PIPELINE STRESS-AND-STRAIN STATE ACCORDING TO ONLINE INFORMATION OF GEOPHYSICAL SERVICE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

A.A. Aleksandrov¹, R.A. Gumerov²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: rector@bmstu.ru

²Emergency Situations Research Center, Moscow, Russian Federation
e-mail: gumerus@mail.ru

The technology of the automated assessment of stress-and-strain state of the main pipeline on the basis of data obtained from Geophysical service of the Russian Academy of Sciences is offered. A version of its implementation is presented in the form of a program complex including the program-computation module and the geographical information system. The exploitation loads and impacts on the pipeline are considered. The stresses arising in the pipe during the passage of a seismic wave as well as stresses occurring under exploitation loads are analyzed. A method for analysis of the stress-and-strain state of the main pipeline exposed to seismic impact

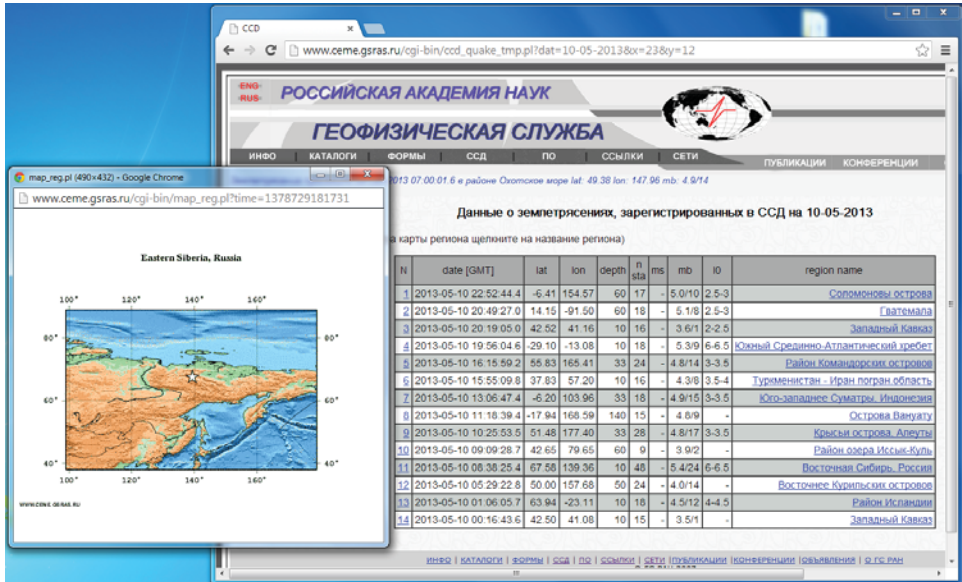
is developed. The presented methods and software allow one to implement a system approach to the complex analysis of the main pipeline durability under seismic loads and to the planning of engineering actions to provide the safe and reliable operation of main pipelines in earthquake-prone regions.

Keywords: main pipeline, seismic load, stress-and-strain state, urgent report service, geographic information system.

В настоящее время транспорт энергоресурсов является одной из важнейших отраслей экономики многих развитых стран. В связи с этим первоочередными становятся задачи обеспечения бесперебойной работы комплексов, осуществляющих транспорт (магистральных нефте- и газопроводов (МТ)), а также их безопасного функционирования. Наиболее опасной и часто возникающей чрезвычайной ситуацией, вызывающей повреждение и остановку работы трубопровода, является землетрясение. Благодаря интенсивному развитию, широкому распространению и массовому применению информационных технологий в последние 10–20 лет обеспечение безопасности трубопровода при сейсмических воздействиях может быть автоматизировано путем непрерывного получения информации из интернет-источников с последующим расчетом напряженно-деформированного состояния трубопровода (НДС) и сравнением его с нормативным расчетным сопротивлением, установленным при вводе МТ в эксплуатацию. В этом случае надежным источником сейсмической информации является служба срочных донесений Геофизической службы Российской академии наук (ССД ГС РАН).

Метод определения сейсмических воздействий по данным оперативной информации Геофизической службы РАН. Геофизическая служба РАН осуществляет непрерывный сейсмический мониторинг территорий Российской Федерации, сопредельных стран и мира в целом. В случае возникновения сейсмических событий ССД ГС РАН в оперативном режиме определяет параметры землетрясений: дату и время в очаге; координаты эпицентра; магнитуду; глубину очага. Полученные данные передаются в заинтересованные организации и публикуются на сайте службы <http://www.ceme.gsras.ru>. Список действующих сейсмических станций, станций сильных движений ГС РАН и ее филиалов представлен на сайте <http://www.ceme.gsras.ru/net.htm>. Пример выкопировки данных о землетрясении в Юго-Восточной Сибири в 2013 г., содержащихся на информационном сайте ГС РАН, приведен на рисунке.

С учетом оперативных данных о параметрах сейсмического воздействия находится расстояние от очага землетрясения до ближайшего к нему участка трубопровода. Зная это расстояние, можно рассчитать значение сейсмической интенсивности, балл, на участке трубопровода по формуле макросейсмического поля [2]



Выкопировка данных о землетрясении с информационного сайта ГС РАН [1]

$$I = bM - \nu \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + c,$$

где b , ν , c – региональные константы (например, для Якутии $b = 1,5$, $\nu = 3,5$ и $c = 3,0$ [3]); M – магнитуда землетрясения; Δ – эпицентральное расстояние, км; H – глубина очага землетрясения, км.

После обработки необходимой информации осуществляется расчет напряжений, возникающих в трубопроводе.

Оценка НДС трубопровода при воздействии сейсмической волны. При прохождении волны от землетрясения в трубе возникают следующие напряжения:

1) осевое напряжение

$$\sigma_{oc} = \frac{\min(F_k, F_t)}{A};$$

2) напряжение по изгибающему моменту

$$\sigma_M = \frac{M_k}{W},$$

где F_k – продольная сила; F_t – сила, передаваемая конструкции за счет силы трения грунта; A – площадь поперечного сечения трубы; k – тип сейсмической волны ($k = 1$ для продольной волны, $k = 2$ для поперечной волны); M_k – изгибающий момент; W – момент сопротивления сечения трубы.

Труба, расположенная в грунте, может рассматриваться как упругая линейно-протяженная конструкция балочного типа. Тогда продольную

силу и изгибающий момент при прохождении сейсмической волны вычисляют по формулам [4]

$$F_k = \frac{EA v_{\max}}{\alpha_k V_k} \leq F_t;$$

$$M_k = \frac{EJa}{(\beta_k V_k)^2},$$

где E — модуль упругости материала трубы; $v_{\max} = v_0 K_g$ — максимальная скорость частиц грунта; v_0 — начальная скорость, $v_0 = 0,91$ и $1,20$ м/с для грунтов I и II категории по сейсмическим свойствам; K_g — коэффициент сейсмичности (табл. 1); α_k, β_k — коэффициенты, соответствующие типу волны (табл. 2); V_k — скорость распространения волны k -го типа; J — момент инерции поперечного сечения трубы; a — сейсмическое ускорение, определяемое в зависимости от силы землетрясения (см. табл. 1).

Таблица 1

Значения сейсмического ускорения и коэффициента сейсмичности [5]

Показатель	Сила землетрясения, балл			
	7	8	9	10
$a, \text{см/с}^2$	100	200	400	800
K_g	0,1	0,2	0,4	0,8

Таблица 2

Значения коэффициентов α_k и β_k [4]

Коэффициент	Тип волны k	
	1	2
α_k	1,0	2,0
β_k	1,6	1,0

Сила, передаваемая трубопроводу за счет силы трения¹ грунта, находится по формуле

$$F_t = \frac{1}{4} f_t \lambda_k,$$

где f_t — максимум погонной силы трения между конструкцией и грунтом, определяемый с учетом силы от волнового воздействия и сцепления грунта с трубой,

$$f_t = \pi D (K_{\text{тр}} \rho_{\text{г}} v_{\max} V_k + C_{\text{г}});$$

D — внешний диаметр трубы; $K_{\text{тр}} = \text{tg } \varphi_{\text{г}}$ — коэффициент трения; $\varphi_{\text{г}}$ — угол внутреннего трения грунта (засыпки); $\rho_{\text{г}} = \gamma_{\text{г}}/g$ — плотность грунта; $\gamma_{\text{г}}$ — удельный вес грунта; g — ускорение свободного падения; $C_{\text{г}}$ — сцепление грунта (засыпки); $\lambda_k = TV_k$ — длина волны k -го типа [6]; T — преобладающий период сейсмического воздействия для волны k -го типа. Физико-механические свойства грунтов приведены в табл. 3.

¹Трение от волнового воздействия возникает в результате движения частиц грунта, вызванного распространением сейсмической волны.

Физико-механические свойства грунтов

Вид грунта	γ_r , Н/м ³	C_r , кПа	φ_r , град
Песок:			
гравелистый	25 500	0...2	36...40
средней плотности	23 000	1...3	33...38
мелкий	21 200	2...5	30...36
пылеватый	20 500	2...7	28...34
Супеси	19 700	4...12	21...25
Суглинки	19 000	6...20	17...22
Глины	16 800	12...40	15...18

Формулы для вычисления параметров трубы имеют следующий вид (δ — толщина стенки трубы):

для площади сечения трубы

$$A = \pi D \delta;$$

для момента инерции

$$J = \frac{\pi D^3 \delta}{8};$$

для момента сопротивления

$$W = \frac{\pi D^2 \delta}{4}.$$

Полное напряжение от воздействия сейсмической волны, Па, определяется как сумма осевого напряжения и напряжения по изгибающему моменту:

$$\sigma_{\text{сейсм}} = \sigma_{\text{ос}} + \sigma_{\text{м}}.$$

Кроме напряжений, возникающих при сейсмических воздействиях, в трубе уже присутствуют напряжения от эксплуатационных нагрузок, которые также должны быть учтены для получения полной оценки НДС.

Расчет эксплуатационных нагрузок. Общее напряженное состояние трубопровода включает в себя следующие составляющие:

- напряжения, зависящие от внутреннего рабочего давления;
- напряжения, зависящие от температуры трубопровода;
- напряжения, определяемые внешними силами (реакцией грунта, воды).

Внутреннее давление в трубе приводит к возникновению в стенке трубы кольцевых и продольных напряжений, которые определяются по формулам

$$\sigma_{\text{кц}(p)} = \frac{p(D - 2\delta)}{2\delta}; \quad \sigma_{\text{пр}(p)} = \mu \sigma_{\text{кц}(p)} = \mu \frac{p(D - 2\delta)}{2\delta},$$

где p — внутреннее давление в трубе; μ — коэффициент поперечной деформации материала трубы (коэффициент Пуассона).

Температурное воздействие выражается в том, что при эксплуатации трубопровода могут появиться термонапряжения в стенке трубы, которые направлены по оси трубопровода и описываются формулой [7]:

$$\sigma_t = -E\alpha\Delta t,$$

где α — коэффициент температурного расширения металла; Δt — расчетный температурный перепад, равный разности температур трубопровода при его закладке и эксплуатации. Знак “+” при напряжении σ_t соответствует напряжениям растяжения, знак “-” — напряжениям сжатия.

Упругий изгиб (искривление трубопровода) в вертикальном и горизонтальном направлениях вызывает изгибные напряжения, которые зависят от воздействия различных внешних сил, в том числе от реакции грунта. Изгибные напряжения имеют различные значения на разных образующих трубопровода и определяются по формуле

$$\sigma_{\text{изг}} = \pm(EJy'')/W,$$

где y'' — вторая производная функции прогиба. Значение y'' соответствует кривизне рассматриваемого участка трубопровода, равного величине, обратной радиусу изгиба ρ .

Если участок трубопровода имеет изгиб одновременно в горизонтальном и вертикальном направлениях, то кривизна и напряжения вычисляются по формулам [8]

$$\frac{1}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho_y}\right)^2}; \quad \sigma_{\text{изг}} = \pm \frac{ED}{2\rho} = \sqrt{\sigma_{\text{изг}x}^2 + \sigma_{\text{изг}y}^2},$$

где ρ_x, ρ_y — радиусы изгиба в горизонтальном и вертикальном направлениях; $\sigma_{\text{изг}x}, \sigma_{\text{изг}y}$ — изгибные напряжения в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Значения ρ_x, ρ_y могут быть определены с помощью решения системы дифференциальных уравнений [9]

$$\begin{aligned} EJ_y \frac{d^4 u}{dz^4} - N(z) \frac{d^2 u}{dz^2} &= q_x(z); \\ EJ_x \frac{d^4 v}{dz^4} - N(z) \frac{d^2 v}{dz^2} &= q_y(z); \\ \frac{d^2 w}{dz^2} &= -\frac{q_z(z)}{\pi DE\delta}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь u, v — поперечные горизонтальное и вертикальное смещения оси трубы; w — продольное (вдоль оси) смещение трубы; $q_x(z), q_y(z), q_z(z)$ — поперечная горизонтальная, вертикальная и продольная

нагрузки на трубу; $N(z)$ — продольная (осевая) сила; $J_x(z)$, $J_y(z)$ — момент инерции поперечного сечения трубы относительно осей x и y соответственно.

Первое уравнение системы (1) описывает продольно-поперечный изгиб упругой балки в плоскости (x, z) , второе — продольно-поперечный изгиб упругой балки в плоскости (y, z) , а третье — состояние трубопровода при продольном сдвиге по оси z .

Нагрузки $q_x(z)$, $q_y(z)$, $q_z(z)$ определяются с учетом сил взаимодействия МТ с грунтом, причем при нахождении нагрузки $q_y(z)$ принимается во внимание вес рассматриваемого участка трубы, включающего в себя материал трубы, транспортируемый продукт и изоляционный слой.

За счет деформации трубопровода в трубе также возникают напряжения от продольного перемещения участка МТ:

$$\sigma_\varepsilon = E\Delta\varepsilon_z,$$

где $\Delta\varepsilon_z$ — осевая деформация. Значение $\Delta\varepsilon_z$ связано с поперечными и продольными перемещениями участка трубопровода в каждом сечении по оси z и определяется по системе уравнений (1). Прочность трубопровода оценивается как

$$\sigma_{\text{кц}} = \sigma_{\text{кц}(p)}; \quad \sigma_{\text{пр}} = \sigma_{\text{пр}(p)} + \sigma_t + \sigma_\varepsilon \pm \sigma_{\text{изг}};$$

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{кц}}^2 - \sigma_{\text{пр}}\sigma_{\text{кц}}}.$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентное напряжение от кольцевых и продольных напряжений.

Для трубопровода серьезную опасность представляют механические напряжения сжатия (может произойти потеря устойчивости) и растяжения (может произойти разрыв). Причем в одном и том же сечении трубопровода могут быть одновременно напряжения растяжения и сжатия (например, при изгибе), поэтому в расчетах рассматриваются четыре вида напряжения:

- наибольшее кольцевое напряжение $S_1 = \max \sigma_{\text{кц}}$;
- наименьшее продольное напряжение с учетом знака $S_2 = \min \sigma_{\text{пр}}$;
- наибольшее продольное напряжение с учетом знака $S_3 = \max \sigma_{\text{пр}}$;
- наибольшее эквивалентное напряжение $S_4 = \max \sigma_{\text{экв}}$.

Затем можно оценить техническое состояние участка трубопровода по найденным значениям расчетных напряжений. При этом необходимо учитывать, что в процессе нормальной эксплуатации нефтепровода все четыре расчетных значения напряжений по абсолютной величине не должны превышать допустимые значения напряжений, определенные на основании характеристик трубопровода, включая механические свойства стали, срок эксплуатации, уровень дефектности,

категорию безопасности и др. Это требование описывается следующими условиями:

$$S_1 \leq k_B \sigma_B; \quad |S_2| \leq k_B \sigma_B; \quad |S_3| \leq k_B \sigma_B; \quad S_4 \leq k_T \sigma_T,$$

где σ_B, σ_T — предел текучести и предел временного сопротивления материала трубы; k_B, k_T — коэффициенты надежности (запаса прочности) по механизмам разрушения.

Коэффициенты надежности следует подбирать, исходя из условий эксплуатации трубопровода и требований действующих нормативных документов.

Определение результирующего напряжения. Результирующее напряжение, действующее на трубопровод, — это сумма напряжений от воздействия эксплуатационных нагрузок $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ и сейсмической волны $\sigma_{\text{сейсм}}$:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{\text{ЭКВ}} + \sigma_{\text{сейсм}}.$$

Далее осуществляется сравнение полученного значения напряжения с нормативным расчетным сопротивлением. Если суммарное напряжение σ_{Σ} превышает расчетное значение, то рекомендуется провести мероприятия в соответствии с инструкциями по эксплуатации трубопровода.

Технология автоматизированной оценки НДС по данным ССД ГС РАН может быть реализована с использованием географических информационных систем (ГИС).

Реализация технологии. В настоящее время ГИС получили широкое распространение, показав свою высокую эффективность при автоматизации расчетов с учетом пространственных факторов [10]. Географические информационные системы имеют блочную структуру, каждый блок обеспечивает накопление информации и ее структуризацию. Основные блоки ГИС: расчетно-аналитический блок; блок тематического картографирования; база данных. В ГИС используется информация двух типов: картографическая и семантическая. Картографическая информация включает в себя координаты и очертание линейной части нефтепровода. Ее объем должен быть достаточным для правильной визуализации прокладки самого трубопровода и дополнительных устройств, входящих в состав линейной части (задвижки, отводы и пр.), а также близлежащих окрестностей. Семантическая информация описывает количественные и качественные характеристики МТ (включая данные о транспортируемом продукте, нормах эксплуатации и т.д.), геологической среды и связей между ними.

Эффективной реализацией технологии автоматизированной оценки НДС трубопровода является программный комплекс, состоящий из

программно-расчетного модуля (ПРМ) и ГИС. Программный комплекс работает по алгоритму, приведенному ниже.

1. Выполняется запрос на сайт ССД ГС РАН для получения информации о землетрясениях, произошедших вблизи МТ. Запрос может повторяться через заданный интервал времени (например, каждые 10 мин).

2. Запрошенная информация поступает в блок тематического картографирования ГИС; координаты эпицентра землетрясения наносятся на карту; определяется расстояние от эпицентра до ближайшего участка трубопровода.

3. Из базы данных ГИС в ПРМ передаются данные о характеристиках участка МТ, а также данные о грунтах, где размещен трубопровод.

4. В ПРМ вычисляются параметры макросейсмического поля в баллах на различных расстояниях от эпицентра землетрясения; определяется максимальное ускорение частиц грунта вблизи трубы и рассчитываются напряжения от воздействия сейсмической волны.

5. Определяются напряжения в трубе, возникающие от влияния эксплуатационных нагрузок и воздействий.

6. Находится результирующее напряжение от воздействия сейсмической волны и эксплуатационных нагрузок с учетом их максимальных значений.

7. Проверяется выполнение условий прочности материала трубы на рассматриваемом участке нефтепровода и выдаются рекомендации для эксплуатационных служб по реагированию на сейсмическое воздействие.

Выводы. 1. Разработана технология автоматизированной оценки НДС магистрального трубопровода, учитывающая нагрузки, возникающие в процессе взаимодействия МТ с сейсмическими волнами при землетрясении, а также действующие на трубопровод эксплуатационные нагрузки и воздействия.

2. На основе предлагаемой технологии созданы алгоритмы и программные средства.

3. Представленные методы и программные средства обеспечивают комплексный анализ прочности МТ при сейсмических воздействиях и реализуют системный подход к определению последствий землетрясения на НДС трубопровода и к планированию инженерных мероприятий по обеспечению безопасной и надежной эксплуатации МТ на сейсмоопасных участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/quake_stat_tmp.pl?sta=20131678 [Электронный ресурс] (Дата обращения: 12.05.2013).

2. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 95–121.
3. Шебалин Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля / Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.). М.: Наука. С. 20–30.
4. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Госатомнадзор России. Введ. 01.01.2002.
5. Медведев С.В. Определение балльности интенсивности землетрясения // Землетрясения в СССР. М.: Наука, 1961. С. 103–125.
6. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб.: Наука, 1998. 255 с.
7. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980. 170 с.
8. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности, ползучести. М.: Высш. шк., 1968. 532 с.
9. Лисин Ю.В., Александров А.А., Ларионов В.И., Козлов М.А. Оценка планово-высотного положения трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. № 3 (88). С. 68–79.
10. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Применение ГИС-технологий для повышения безопасности населения и территорий. Энциклопедия безопасности. В 3 т. / под ред. В.А. Котляревского. М.: Наука, 2005. Т. 1. С. 119–154.

REFERENCES

- [1] Available at: http://www.ceme.gsras.ru/cgi/bin/quake_stat_tmp.pl?sta=20131678 (accessed 12.05.2013).
- [2] Shebalin N.V. Techniques for using engineering and seismic data in seismic zoning. Seysmicheskoe rayonirovanie SSSR [Seismic zoning in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp.95–121 (in Russ.).
- [3] Shebalin N.V. Support earthquakes and the equations of a macroseismic field. *Novyy Katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR (s drevneyshikh vremen do 1975 g.)* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR (from ancient times to 1975)]. Moscow, Nauka Publ., pp.20–30 (in Russ.).
- [4] NP-031-01. Normy proektirovaniya seysmostoykikh atomnykh stantsiy. Gosatomnadzor Rossii [Design standards for earthquake-resistant nuclear power plants. State Nuclear Supervision of Russia], 2002.
- [5] Medvedev S.V. Determining the earthquake intensity. *Zemletryaseniya v SSSR* [Earthquakes in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1961, pp. 103–125 (in Russ.).
- [6] Birbraer A.N. Raschet konstruksiy na seysmostoykost' [Structural analysis of seismic stability]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998. 255 p.
- [7] Seysmostoykost' magistral'nykh truboprovodov i spetsial'nykh sooruzheniy neftyanoy i gazovoy promyshlennosti [Seismic resistance of pipelines and special structures in the oil and gas industry]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 170 p.
- [8] Bezukhov N.I. Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti, polzuchesti [Fundamentals of the theory of elasticity, plasticity, and creep]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1968. 532 p.
- [9] Lisin Yu.V., Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Kozlov M.A. Evaluation of a planned high-altitude pipeline position in the areas with permafrost soil. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2012, no. 3 (88), pp. 68–79 (in Russ.).

- [10] Kotlyarevskiy V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. The application of GIS technology to improve the population and territory safety. *Entsiklopediya bezopasnosti. T. 1.* [Encyclopedia of safety. Vol. 1], Moscow, Nauka Publ., 2005., pp. 119–154 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 13.09.2013

Анатолий Александрович Александров — д-р техн. наук, профессор, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой “Экология и промышленная безопасность”. Автор около 100 научных работ в области ресурсо- и природосбережения при хранении и транспортировке жидкого углеводородного топлива с использованием криогенной техники, теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

A.A. Aleksandrov — Dr. Sci. (Eng.), professor. Rector of the Bauman Moscow State Technical University. Author of about 100 publications in the field of the resource and nature saving in storage and transportation of liquid hydrocarbon fuel using of cryogenic technology, theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous production objects. Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya, 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Рустам Анрикович Гумеров — программист ООО “Центр исследований экстремальных ситуаций” (ООО “ЦИЭКС”). Специализируется в области промышленной безопасности объектов нефтяной и газовой индустрии.

ООО “Центр исследований экстремальных ситуаций”, Российская Федерация, 109028, Москва, Подколокольный пер., д. 16/2.

R.A. Gumerov — programmer of ООО “Emergency Situations Research Center”, Moscow, Specializes in the field of industrial safety of objects of oil and gas industry.

ООО “Emergency Situations Research Center”, Podkolokol’ny per., 16/2. Moscow, 109028 Russian Federation.