

УДК 622.276
МРНТИ 52.47.19

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ТРУБОПРОВОДОВ В РАЙОНАХ С ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

САРЫЕВА А.Е., ПОЛУМОРДВИНОВ И.О.

Казахстанско-Британский технический университет

Аннотация: Статья посвящена совершенствованию методов повышения устойчивости трубопроводов в районах с высокой сейсмической активностью. Изучены методы определения прочности магистральных трубопроводов, подверженных сейсмическому воздействию.

Проведены анализы на влияние поперечных нагрузок от воздействия сейсмических волн, направленных на ось и прочность сооружения в зависимости от диаметра и толщины стенки трубы и интенсивности землетрясения.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, землетрясение, прочность трубопровода, поперечная нагрузка

ЖОҒАРЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ АЙМАҚТАРДА АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ҚҰБЫРЛАР МОНИТОРИНГІН ДАМУ

Аңдатпа: Мақала сейсмикалық белсенділігі жоғары аудандардағы құбырлардың тұрақтылығын арттыру әдістерін жетілдіруге арналған. Сейсмикалық әсерлерге ұшыраған құбырлардың беріктігін автоматты түрде анықтау әдістері зерттелген.

Құбыр қабырғасының диаметрі мен қалыңдығына және жер сілкінісінің қарқындылығына байланысты қалыпты түрде құбырдың бойлық осіне бағытталған сейсмикалық толқындардың әсерінен көлденең жүктемелердің әсер етуіне талдау жүргізілді.

Түйінді сөздер: магистралды құбыр, жер сілкінісі, құбыр тұрақтылығы, көлденең жүктеме

DEVELOPMENT OF AUTOMATED PIPELINE MONITORING IN AREAS WITH HIGH SEISMIC ACTIVITY

Abstract: The article is devoted to improving methods for increasing the stability of pipelines in areas with high seismic activity. The methods of automated determination of the strength of pipelines subjected to seismic effects are studied.

The analyzes were carried out and patterns of the influence of transverse loads from the action of seismic waves directed normally to the longitudinal axis of the pipeline on the strength of the structure depending on the diameter and thickness of the pipe wall and the intensity of the earthquake were revealed.

Key words: pipeline, earthquake, strength of pipeline, stressed strain

Магистральные трубопроводы большой протяженности являются уязвимыми перед природными явлениями, в особенности перед землетрясением большой магнитуды, кото-

рые приводят к грунтовым колебаниям, разломам и повреждению сооружения. Для совершенствования методов мониторинга сооружения проводится оценка по интенсивно-

сти сейсмических воздействий и прочности трубопровода.

Система дифференциального уравнения волновой динамики сплошной среды является методом расчета прочности трубопровода на динамические сейсмические воздействия, основанные на моделировании взаимодействия трубы с грунтом относительно направления волны.

Нормальная ось к продольной оси трубопровода, в виде прямоугольника в плоскости, производит аппроксимацию по диагональной схеме грунтовой среды вокруг трубопровода. Осевые деформации и напряжения приводят

к возникновению в стержнях усилий, что скапливает инерцию и кинематику в узлах, которые отображаются в исходной схеме. Для расчета сооружения, заглубленного в грунт, контур трубы совмещают с элементами сетки, а значения соответствующих узловых масс по контуру трубы корректируют [5].

При моделировании сейсмического воздействия на границы сооружения подается нагрузка. Для расчета трубопровода разного диаметра, используют неравномерный шаг, возрастающий от оси трубопровода в арифметической прогрессии по обеим осям (рисунок 1).

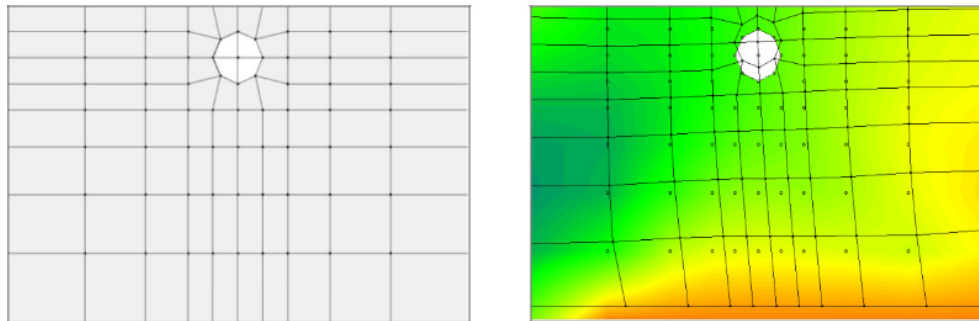


Рис. 1 – Схема до и во время сейсмической активности

Поперечная сила для области трубопровода с $l = 1$ м определяется данной формулой:

$$\sqrt{N_{xy}} = N^2 + N^2 = P R l, H, \quad (1)$$

где N_x и N_y – компоненты вектора нагрузки N_{xy} ; H ; P_m – давление на узел массой m , Па; R – радиус трубы, м.

Кольцевой изгиб и сжатие стенки трубы появляется за счет дифракционного взаимодействия сейсмических волн с трубопроводом. При этом напряжение распределяется неравномерно: наибольшие значения будут в точках А ($\varphi = 0$ и $\varphi = \pi$) и С ($\varphi = \pm\pi/2$). Напряжение можно вычислить по следующим формулам [6]:

– нормальные фибровые изгибные напряжения

$$\sigma \pm 0,305 P R^2 l W; \sigma = 0,16847 P R^2 l W; \quad (2)$$

– нормальные сжимающие напряжения

$$\sigma_{N\alpha} = -0,02653 P_m R l F; \sigma_{N\epsilon} = -0,5 P_m R l F \quad (3)$$

здесь $W_{\text{кц}} = \delta 2 l 6 u$ и $F = \delta l$ – момент сопротивления, м^3 , и площадь сечения стенки трубы в плоскости XZ , м^2 , для единичной длины трубопровода l ;

δ – толщина стенки трубы, м.

Максимальные нормальные фибровые изгибные σ_M^S и сжимающие σ_N^S напряжения определяются при моделировании сейсмического воздействия к продольной оси трубопровода:

$$\sigma_M^S = \max(\sigma_{N\alpha}; \sigma_{N\epsilon}); \sigma_N^S = \max(\sigma_{M\alpha}; \sigma_{M\epsilon}). \quad (4)$$

Поперечное сейсмическое напряжение определяется по формуле

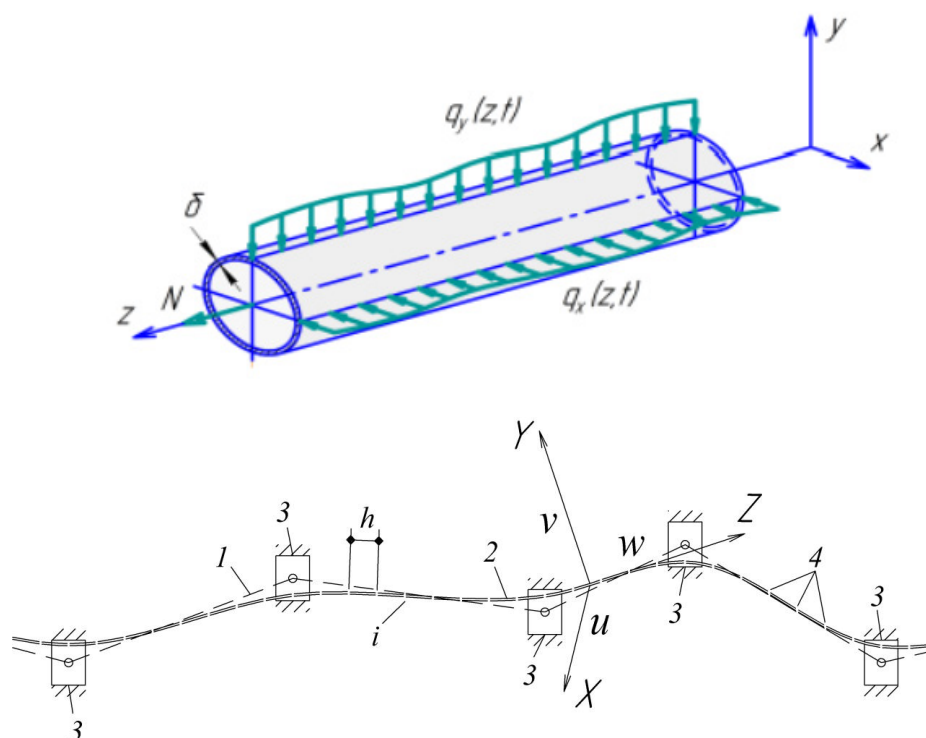
$$\sigma = \sigma_s \pm \sigma^s, \text{ Па};$$

Кольцевые $\sigma_{\text{кц}} = \sigma_{\text{кц}}(p)$ и продольные $\sigma_{\text{пр}} = \sigma_{\text{пр}}(p) + \sigma_t + \sigma_\epsilon + \sigma_{\text{изг}}$ напряжения определяют общее напряженное состояние трубопровода от статических нагрузок, где $\sigma_{\text{кц}}(p)$ и $\sigma_{\text{пр}}(p)$ – кольцевые и продольные напряжения от действия внутреннего давления; σ_t – температур-

ные напряжения; σ_{ε} – напряжения от продольного перемещения участка трубопровода; $\sigma_{\text{изг}}$ – напряжения изгиба [1].

На основе решения задачи определяются нагрузки. Отдельные прямолинейные отрезки трубы заменяются упругой линией с различной кривизной (рисунок 3). При реше-

нии системы дифференциальных уравнений, включающей взаимодействие трубы с грунтом в вертикальном, горизонтальном и продольном направлениях определяется кривизна упругой линии по данным положениям отдельных точек, соединенных отрезками [3].



1 – отрезки, соединяющие точки измерений положения трубы на расчетном участке; 2 – расчетная упругая линия оси трубопровода; 3 – точки измерений положения трубопровода, где труба изменяет направление; 4 – расчетные сечения трубопровода с шагом h ; u , v , w – смещения трубопровода в направлениях осей X , Y , Z ; i – номер узла

Рис. 3 – Расчетная схема участка трубопровода

Сумма компонентов напряжений в трубе от сейсмического воздействия с компонентами напряжений от статической нагрузки определяют общую оценку напряженно-деформированного состояния трубопровода [2].

Получен коэффициент K , учитывающий увеличение напряжения в трубе от поперечных воздействий сейсмической волны (таблица 3). С учетом зависимости интенсивности землетрясения от расстояния должны быть установлены сейсморегастраторы вдоль трассы трубопровода (рисунок 5). Как видно из графика, максимальные расстояния между датчиками ускорений для трубопровода на участках с интенсивностями землетрясения

7, 8 и 9 баллов не должны превышать 10, 15 и 20 км соответственно [2].

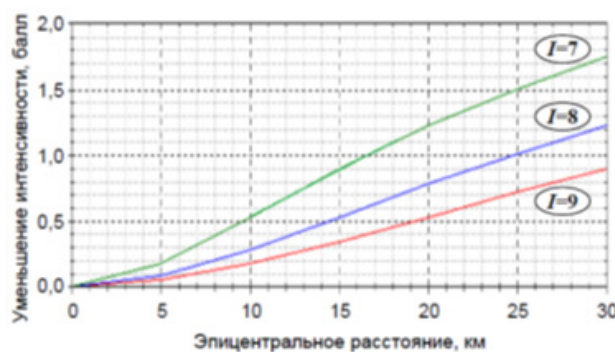


Рис. 5 – Уменьшение интенсивности землетрясения от расстояния

Таблица 2 – Значения минимальных толщин стенок труб, мм

Марка стали	Диаметр, мм	Расчетное сопротивление, Мпа	Сейсмичность зоны, балл	
			7	8
K55	820	305,2	16	24
	1020		20	24
	1220	290,7	24	28
K56	820	320,9	16	20
	1020		20	24
	1220	305,6	24	28
K60	820	360	16	20
	1020		16	20
	1220	342,9	24	24
X70	1220	376,4	20	24
X80	1220	413,7	20	20

Примечания.

1. При невозможности обойти участки с сейсмичностью 9 баллов расчеты трубопровода необходимо проводить с учетом конкретных геологических и эксплуатационных условий.

Таблица 3 – Коэффициент К, учитывающий поперечное воздействие сейсмической волны

Толщина стенки, мм	Диаметр трубы, мм					
	820		1020		1220	
	Интенсивность землетрясения, балл					
	7-8	9-10	7-8	9-10	7-8	9-10
16	1,2	1,25	1,25	1,35	1,40	1,50
20	1,15	1,2	1,2	1,25	1,3	1,40
24	1,10	1,15	1,15	1,2	1,25	1,3
28	1,05	1,10	1,10	1,15	1,2	1,25

Оценивание сейсмического воздействия на трубопровод, выработка эффективных управленческих решений для своевременной локализации аварии и снижение ущерба от возможных аварийных ситуаций, связанных с землетрясениями, осуществляется за счет системы мониторинга и выполнения расчета напряженно – деформированного состояния трубопровода [2].

Заключение

Изучены сейсмические воздействия на состояние трубопровода, что позволяет определить поперечную нагрузку. С помощью разных методов математического анализа были решены поставленные задачи.

Выявлено, что на ось и прочность трубопровода влияет поперечная нагрузка от воздействия сейсмических волн. Влияние зависит на прямую от диаметра, толщины трубопровода и землетрясения.

Эффективность метода зависит от тектонических условий участка и определяется экономической применимостью. Устранить пересечение трубопроводами зон тектонических нарушений невозможно, поэтому так важно предусмотреть все возможные варианты использования методов и технологий, позволяющих обеспечить защиту от сейсмической активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авлиякунов Н.Н. Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2007. – № 4. – 40-43 с.
2. Бондур, В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. – 2010. – № 6. – 3-17 с. – www.aerocosmos.info
3. Владимиров, В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью: Монография – М.: ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 184 с.
4. Ассоциации операторов магистральных сухопутных газопроводов Великобритании. – www.ukopa.co.uk.
5. Ларионов, В.И. Анализ риска аварий магистральных трубопроводов на сейсмоопасных участках. – 2016. – № 4. – 82–86 с.
6. Guidelines for Assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. American Lifelines Alliance. – 2005. – 55. – www.americanlifelinesalliance.com