ISSN 1814-1196
Научный вестник НГТУ
том 55, № 2, 2014, с. 148–155

http://journals.nstu.ru/vestnik
Scientific Bulletin of NSTU
Vol. 55, No. 2, 2014, pp. 148–155

ФИЗИКА И МЕХАНИКА PHYSICS AND MECHANICS

УДК 539.3

Влияние параметров движущейся в подземном трубопроводе периодической нагрузки на напряжённо-деформированное состояние окружающего его массива[1]

В.Н. УКРАИНЕЦ[1], С.Р. ГИРНИС[2], Д.А. АЛИГОЖИНА[3], А.К. ТЛЕУЛЕСОВ[4]

[1] 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова,64, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, д. т. н., профессор, e-mail: vitnikukr@mail.ru
[2] 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова,64, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к. т. н., доцент, e-mail: girnis@mail.ru
[3] 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова,64, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, магистрант, e-mail: aligojina@mail.ru
[4] 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова,64, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, ст. преподаватель, e-mail: askaralek66@mail.ru

На основе решения задачи о действии подвижной периодической нагрузки на толстостенную круговую цилиндрическую оболочку в упругом полупространстве проведен численный анализ влияния скорости и периода равномерно движущейся в подземном трубопроводе нормальной осесимметричной синусоидальной нагрузки на напряжённо-деформированное состояние окружающего его породного массива. Движение оболочки и полупространства описывается динамическими уравнениями теории упругости в подвижной системе координат, связанной с нагрузкой. Вектора смещений выражаются через потенциалы Ламе. Для стационарного решения задачи используется метод неполного разделения переменных и метод разложения потенциалов на плоские волны и плоских волн в ряды по цилиндрическим функциям. Решение получено для скоростей движения нагрузки, не достигающих скорости волны Рэлея в полупространстве. При проведении компьютерных экспериментов рассчитаны прогибы земной поверхности над трубопроводом мелкого заложения и компоненты напряженно-деформированного состояния массива на контуре поперечного сечения трубопровода при различных скоростях и периодах нормальной осесимметричной синусоидальной нагрузки. Результаты расчетов представлены в виде таблиц. Анализируется влияние скорости движения нагрузки и ее периода на напряженно-деформированное состояние окружающего трубопровод породного массива. Установлен критерий для возможности использования более простой расчетной схемы подземного трубопровода.

Ключевые слова: подземный трубопровод, породный массив, земная поверхность, цилиндрическая оболочка, упругое полупространство, периодическая нагрузка, подвижная нагрузка, скорость движения нагрузки, напряжённо-деформированное состояние

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия широкое развитие получило строительство подземных магистральных трубопроводов, обеспечивающих транспортировку практически всего объёма добываемого природного газа, большей части нефти и различных грузов. Наряду со статическим расчётом таких сооружений необходим их динамический расчёт. Среди динамических нагрузок на подземные трубопроводы следует выделить транспортные нагрузки (подвижные нагрузки, передаваемые сооружению транспортируемыми по нему объектами). В качестве основных модельных задач, используемых для динамических расчётов подземных трубопроводов на транспортную нагрузку, обычно рассматриваются задачи о действии подвижных нагру-

[1] *Статья получена 29 января 2014 г.*

зок на круговую цилиндрическую оболочку в упругом пространстве (в случае глубокого заложения трубопровода) или полупространстве (в случае мелкого заложения трубопровода). Особый интерес вызывает последняя задача, так как в этом случае обязательно следует учитывать влияние земной поверхности на концентрацию напряжений в окрестности оболочки при дифракции отражённых волн [1–7].

1. ПОСТАНОВКА И АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Используя для исследований модельный подход, представим подземный трубопровод как бесконечно длинную круговую цилиндрическую оболочку, ось которой совпадает с осью z декартовой (x, y, z) или цилиндрической (r, θ, z) неподвижной системой координат. Оболочка расположена в линейно-упругом, однородном и изотропном полупространстве $x \le h$ параллельно его горизонтальной границе $x = h$ (земной поверхности), свободной от нагрузок. Обозначим радиус наружной поверхности оболочки R_1 ($R_1 < h$), радиус внутренней поверхности – R_2. Контакт между оболочкой и окружающим её массивом полагаем жестким. Пусть на внутреннюю поверхность оболочки действует движущаяся с постоянной скоростью c в направлении оси z нагрузка P, периодическая по z. При этом будем считать, что скорость движения нагрузки меньше скоростей распространения волн сдвига в оболочке и окружающей её среде (дозвуковой случай). Физико-механические свойства массива и оболочки характеризуются соответственно следующими постоянными: ν_1, μ_1, ρ_1; ν_2, μ_2, ρ_2, где ν_k – коэффициент Пуассона, μ_k – модуль сдвига, ρ_k – плотность (k = 1, 2). В дальнейшем индекс k = 1 относится к массиву, а k = 2 – к оболочке.

Определим реакцию оболочки и окружающего её массива на данную подвижную нагрузку, используя для описания их движения динамические уравнения теории упругости в подвижной системе координат $\eta = z - ct$ [1]:

$$\left(\frac{1}{M_{pk}^2} - \frac{1}{M_{sk}^2}\right)\operatorname{grad}\operatorname{div}\mathbf{u}_k + \frac{1}{M_{sk}^2}\nabla^2\mathbf{u}_k = \frac{\partial^2\mathbf{u}_k}{\partial\eta^2}, \quad k = 1, 2\,, \tag{1}$$

где $M_{pk} = c/c_{pk}$, $M_{sk} = c/c_{sk}$ – числа Маха, $c_{pk} = \sqrt{(\lambda_k + 2\mu_k)/\rho_k}$, $c_{sk} = \sqrt{\mu_k/\rho_k}$ – скорости распространения волн расширения – сжатия и сдвига в массиве ($k = 1$) и оболочке ($k = 2$); $\lambda_k = 2\mu_k\nu_k/(1 - 2\nu_k)$, $\mathbf{u}_k$ – векторы смещений точек массива и оболочки, ∇^2 – оператор Лапласа.

Выражая $\mathbf{u}_k$ через потенциалы Ламе [8]

$$\mathbf{u}_k = \operatorname{grad}\varphi_{1k} + \operatorname{rot}(\varphi_{2k}\mathbf{e}_\eta) + \operatorname{rot}\operatorname{rot}(\varphi_{3k}\mathbf{e}_\eta), \quad k = 1, 2\,, \tag{2}$$

преобразуем уравнения (1) к виду

$$\nabla^2\phi_{jk} = M_{jk}^2\frac{\partial^2\phi_{jk}}{\partial\eta^2}, \; j = 1, 2, 3, \; k = 1, 2\,. \tag{3}$$

Здесь $M_{1k} = M_{pk}$, $M_{2k} = M_{3k} = M_{sk}$.

Используя (2) и закон Гука, можно получить выражения для компонент напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива ($k = 1$) и оболочки ($k = 2$) как функции от φ_{jk}, $j = 1, 2, 3$.

Таким образом, для определения компонент НДС оболочки и окружающей её упругой среды необходимо решить уравнения (3), используя следующие граничные условия:

– для свободной от нагрузок поверхности полупространства ($x = h$)

$$\sigma_{xx1} = \sigma_{xy1} = \sigma_{x\eta 1} = 0\,; \tag{4}$$

– для оболочки и контактирующего с ней массива

$$\text{при } r = R_1 \;\; u_{j1} = u_{j2}\,,\; \sigma_{rj1} = \sigma_{rj2}\,,\;\; \text{при } r = R_2 \;\; \sigma_{rj2} = P_j(\theta,\eta)\,,\; j = r,\theta,\eta\,. \tag{5}$$

Здесь $\sigma_{xx1}, \sigma_{xy1}, \sigma_{x\eta 1}; \sigma_{rj1}, \sigma_{rj2}$ – компоненты тензоров напряжений, u_{j1}, u_{j2} – компоненты векторов перемещений, $P_j(\theta, \eta)$ – составляющие интенсивности подвижной нагрузки $P(\theta, \eta)$.

Рассмотрим случай синусоидальной подвижной нагрузки с произвольной зависимостью от угловой координаты

$$P_j(\theta,\eta) = p_j(\theta)e^{i\xi\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj}e^{in\theta}, \quad j = r,\theta,\eta\,, \tag{6}$$

где константа ξ определяет период $T = 2\pi/\xi$ действующей нагрузки.

Потенциалы φ_{jk} также будем искать в виде периодических по η функций

$$\varphi_{jk}(r,\theta,\eta) = \Phi_{jk}(r,\theta)e^{i\xi\eta}\,. \tag{7}$$

Подставляя (7) в (3), получим

$$\nabla_2^2\Phi_{jk} - m_{jk}^2\xi^2\Phi_{jk} = 0,\; j = 1,2,3,\;\; k = 1,2\,, \tag{8}$$

где $m_{jk}^2 = 1 - M_{jk}^2$, $m_{1k} \equiv m_{pk}$, $m_{2k} = m_{3k} \equiv m_{sk}$, ∇_2^2 – двумерный оператор Лапласа.

В дозвуковом случае $M_{sk} < 1$ ($m_{sk} > 0$, $k = 1, 2$), и мы приходим к известным решениям [1] уравнений (8)

$$\Phi_{jk} = \Phi_{jk}^{(1)} + \Phi_{jk}^{(2)},\; j = 1,2,3,\;\; k = 1,2\,, \tag{9}$$

где:

– для полупространства

$$\Phi_{j1}^{(1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj}K_n(k_{j1}r)e^{in\theta}\,,$$

$$\Phi_{j1}^{(2)} = \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\xi,\zeta)\exp\left(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k_{j1}^2}\right)d\zeta\,; \tag{10}$$

– для оболочки

$$\Phi_{j2}^{(1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj+3}K_n(k_{j2}r)e^{in\theta}\,,$$

$$\Phi_{j2}^{(2)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj+6}I_n(k_{j2}r)\,e^{in\theta}\,. \tag{11}$$

Здесь $I_n(kr), K_n(kr)$ – функции Бесселя первого и второго рода от мнимого аргумента, $k_{j1} = |m_{j1}\xi|$, $k_{j2} = |m_{j2}\xi|$, $j = 1,2,3$; $g_j(\xi,\zeta)$, $a_{n1},\ldots,a_{n9}$ – неизвестные функции и коэффициенты, подлежащие определению.

Аналогично рассмотренной в [1] задачи о действии бегущей нагрузки на круговую полость в упругом полупространстве, в данном случае представление потенциалов в форме (9) с использованием граничных условий (4) и (5), при скоростях нагрузки меньших, чем скорость волны Рэлея c_R в рассматриваемой среде, приводит к системам линейных алгебраических уравнений с определителями $\Delta_n(\xi, c)$ относительно неизвестных коэффициентов a_{nJ} ($J = 1, 2, 3,\ldots, 9$), для решения которых может быть использован метод последовательных отражений. Если определители $\Delta_n(\xi, c)$ не равны нулю, определив коэффициенты a_{nJ}, можно вычислить компоненты напряжённо-деформированного состояния оболочки и окружающей её среды.

2. ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НДС ПОРОДНОГО МАССИВА. ВЫВОДЫ

Исследуем влияние на напряжённо-деформированное состояние окружающего трубопровод массива скорости движения c и периода $T = 2\pi/\xi$ нормальной осесимметричной синусоидальной нагрузки $P_r \equiv P$ с амплитудой P_A, оказывающей наибольшее давление на внутреннюю поверхность трубопровода в начале подвижной системы координат ($\eta = 0$). В качестве примера рассмотрим подземный стальной трубопровод с характеристиками: $\nu_2 = 0{,}3$, $\mu_2 = 8{,}08\cdot10^{10}$ Па, $\rho_2 = 7{,}8\cdot10^3$ кг/м^3; $R_1 = 0{,}61$ м, $R_2 = 0{,}59$ м [9]. Принимаем небольшую глубину заложения трубопровода $h = 2R_1$. Контакт трубопровода с массивом полагаем жёстким. Для исследований возьмём породы с различными механическими свойствами [10]:

– известняк – $\nu_1 = 0{,}25$, $\mu_1 = \mu = 2{,}8\cdot10^3$ МПа, $\rho_1 = 2{,}65\cdot10^3$ кг/м^3, $c_{s1} = 1028$ м/с; $c_R = 945$ м/с;

– алевролит – $\nu_1 = 0{,}28$, $\mu_1 = \mu = 4{,}69\cdot10^3$ МПа, $\rho_1 = 2{,}7\cdot10^3$ кг/м^3, $c_{s1} = 1318$ м/с; $c_R = 1218$ м/с.

В табл. 1 помещены результаты расчётов максимальных прогибов $u_x = u_{x1}\mu/P_A$ ($\eta = y = 0$, $x = h$) земной поверхности при различных скоростях c и периодах T нагрузки. Расчеты проводились для алевролита.

Таблица 1

Максимальные прогибы $\overset{\circ}{u}_x$ земной поверхности

c, м/с	T, м				
	2π	π	$\pi/2$	$\pi/4$	$\pi/8$
	$\overset{\circ}{u}_x$, м				
100	0,204	0,124	0,036	0,003	0,000
400	0,218	0,136	0,041	0,004	0,000
600	0,232	0,153	0,050	0,005	0,000

Из анализа результатов расчётов следует, что увеличение скорости движения нагрузки ведет к увеличению прогибов земной поверхности. С уменьшением T прогибы уменьшаются и при $T = \pi/4$ м, т. е. при $T/h = 0{,}6$ они, как и другие компоненты НДС земной поверхности, практически равны нулю для всех рассматриваемых скоростей нагрузки. В этом случае толщина окружающего трубопровод динамически активного слоя массива приблизительно равна половине его глубины заложения. При дальнейшем уменьшении T толщина динамически активного слоя становится меньше. Таким образом, в случае $T/h < 0{,}6$ для расчёта трубопровода на данную нагрузку можно использовать более простую расчетную схему – оболочку в безграничном упругом пространстве.

В табл. 2, 3 для нагрузки с периодом $T = \pi/8$ м приведены результаты расчётов напряжённо-деформированного состояния рассматриваемых породных массивов на контуре поперечного сечения трубопровода в подвижной координатной плоскости xy, произведенные по двум расчетным схемам (РС): 1 – оболочка в упругом полупространстве, 2 – оболочка в упругом пространстве. Числа Маха $M_R = c/c_R$ для пород – 0,9. В таблицах приняты следующие обозначения: $\overset{\circ}{u}_r = u_{r1}\mu/P_A$, м, $\overset{\circ}{\sigma}_{rr} = \sigma_{rr1}/P_A$, $\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta\,1}/P_A$, $\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta} = \sigma_{\eta\eta1}/P_A$.

Таблица 2

Компоненты НДС массива известняка на контуре поперечного сечения трубопровода ($T = \pi/8$ м, $c = 850$ м/с)

РС	Комп. НДС	θ, град.						
		0	30	60	90	120	150	180
1	$\overset{\circ}{u}_r$	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
2	$\overset{\circ}{u}_r$	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058	–1,058
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

Таблица 3

Компоненты НДС массива алевролита на контуре поперечного сечения трубопровода ($T = \pi/8$ м, $c = 1096$ м/с)

РС	Комп. НДС	θ, град.						
		0	30	60	90	120	150	180
1	$\overset{\circ}{u}_r$	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109
2	$\overset{\circ}{u}_r$	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363	–1,363
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029	–0,029
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109	–0,109

Как видно из таблиц, даже при близкой скорости движения нагрузки с данным периодом к скорости рэлеевской волны, отличия в значениях компонент напряжённо-деформированного состояния исследуемого контура, полученных при использовании различных расчетных схем подземного трубопровода, отсутствуют в любом породном массиве.

Результаты аналогичных расчётов при периоде нагрузки $T = 2\pi$ м и небольшом для пород числе Маха $M_R = 0{,}1$ помещены в табл. 4, 5.

Таблица 4

Компоненты НДС массива известняка на контуре поперечного сечения трубопровода ($T = 2\pi$ м, $c = 95$ м/с)

РС	Комп. НДС	θ, град.						
		0	30	60	90	120	150	180
1	$\overset{\circ}{u}_r$	0,212	0185	0,140	0,112	0,105	0,108	0,111
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–0,437	–0,397	–0,380	–0,409	–0,430	–0,452	–0,467
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,461	0,418	0,427	0,442	0,412	0,374	0,347
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,127	–0,132	–0,134	–0,140	–0,148	–0,159	–0,167
2	$\overset{\circ}{u}_r$	0,124	0,124	0,124	0,124	0,124	0,124	0,124
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–0,465	–0,465	–0,465	–0,465	–0,465	–0,465	–0,465
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,353	0,353	0,353	0,353	0,353	0,353	0,353
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,150	–0,150	–0,150	–0,150	–0,150	–0,150	–0,150

Таблица 5

Компоненты НДС массива алевролита на контуре поперечного сечения трубопровода ($T = 2\pi$ м, $c = 122$ м/с)

РС	Комп. НДС	θ, град.						
		0	30	60	90	120	150	180
1	$\overset{\circ}{u}_r$	0,289	0,240	0,184	0,137	0,134	0,131	0,141
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–0,720	–0,388	–0,599	–0,440	–0,643	–0,485	–0,664
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,607	0,484	0,610	0,557	0,571	0,404	0,448
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,212	–0,158	–0,184	–0,150	–0,194	–0,188	–0,221
2	$\overset{\circ}{u}_r$	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155	0,155
	$\overset{\circ}{\sigma}_{rr}$	–0,586	–0,586	–0,586	–0,586	–0,586	–0,586	–0,586
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\theta\theta}$	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
	$\overset{\circ}{\sigma}_{\eta\eta}$	–0,189	–0,189	–0,189	–0,189	–0,189	–0,189	–0,189

ВЫВОДЫ

Из анализа результатов следует, что даже при низких скоростях движения нагрузки отличия в значениях сравниваемых выше компонент напряжённо-деформированного состояния породных массивов довольно существенны. С увеличением скорости движения нагрузки эта тенденция усиливается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А.** Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 240 с.

[2] **Алексеева Л.А.** Фундаментальные решения уравнений движения упругого полупространства при дозвуковых бегущих нагрузках // Изв. Нац. акад. наук Респ. Казахстан. Сер. физ.-мат. – 2002. – № 5. – С. 53–58.

[3] **Алексеева Л.А.** Действие стационарных бегущих нагрузок в упругом полупространстве // Мат. журн. – Алма-Ата, 2003. – Т. 3, № 1 (7). – С. 18–25.

[4] **Украинец В.Н.** Динамика тоннелей и трубопроводов мелкого заложения под воздействием подвижных нагрузок. – Павлодар: Изд-во НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2006. – 123 с.

[5] **Украинец В.Н.** Реакция упругого полупространства на движущуюся по подкрепленной полости скручивающую нагрузку // Тр. НГАСУ. – 2007. – Т. 10, № 1 (39). – С. 43–50.

[6] **Алексеева Л.А., Украинец В.Н.** Динамика упругого полупространства с подкрепленной цилиндрической полостью при подвижных нагрузках // Прикладная механика. – 2009. – Т. 45, № 9. – С. 75–85.

[7] **Украинец В.Н.** Реакция земной поверхности на движущуюся в тоннеле нагрузку // Изв. РАН. Механика твёрдого тела. – 2009. – № 2 (578). – С. 101–107.

[8] **Новацкий В.** Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.

[9] **Бородавкин П.П.** Подземные магистральные трубопроводы. – М.: Недра, 1982. – 384 с.

[10] **Булычев Н.С.** Механика подземных сооружений в примерах и задачах. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

Украинец Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды Павлодарского государственного университета Министерства образования и науки Республики Казахстан. Основное направление научных исследований – динамика подземных сооружений. Имеет около 150 публикаций, в том числе 3 монографии. E-mail: vitnikukr@mail.ru

Гирнис Светлана Римонтасовна, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования Павлодарского государственного университета Министерства образования и науки Республики Казахстан. Основное направление научных исследований – динамика подземных сооружений. Имеет более 70 публикаций, в том числе 3 монографии. E-mail: girnis@mail.ru

Алигожина Дина Амангельдыевна, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Павлодарского государственного университета Министерства образования и науки Республики Казахстан. Основное направление научных исследований – безопасность эксплуатации подземных магистральных нефтепроводов. Имеет 3 публикации. E-mail: aligojina@mail.ru

Тлеулесов Аскар Каримжанович, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Павлодарского государственного университета Министерства образования и науки Республики Казахстан. Основные направления научных исследований – строительные материалы, динамика подземных сооружений. Имеет более 20 публикаций. E-mail: askaralek66@mail.ru

*Influence of parameters of a periodic load moving in the underground pipeline on the tense-deformed condition of the surrounding massif**

V.N. UKRAINETS[1], S.R. GIRNIS[2], D.A. ALIGOZHINA[3], A.K. TLEULESSOV[4]

[1] *Pavlodar State University. 64, Lomova St., Pavlodar, 140008, Kazakhstan, D.Sc. (Eng.), professor, e-mail: vitnikukr@mail.ru*
[2] *Pavlodar State University. 64, Lomova St., Pavlodar, 140008, PhD (Eng.), associate professor, e-mail: girnis@mail.ru*
[3] *Pavlodar State University. 64, Lomova St., Pavlodar, 140008, Kazakhstan, master student, e-mail: aligojina@mail.ru*
[4] *Pavlodar State University. 64, Lomova St., Pavlodar, 140008, Kazakhstan, senior teacher, e-mail: askaralek66@mail.ru*

Based on the solved problem of an action of a moving periodic load on the thick-walled circular cylindrical cover in the elastic half-space, a numerical analysis of the effect of the velocity and the period of a normal axisymmetric sinusoidal load uniformly moving in the underground pipeline on the stress-deformed condition of the surrounding massif it is made. The movement of the shell and the half-space is described by dynamic equations of the elasticity theory in the load moving coordinates. Displacement vectors are expressed in terms of Lame potentials. For a stationary solution of the problem, the method of incomplete separation of variables and the method of expanion of potentials into plane waves and plane waves into a series of cylindrical functions are used The solution is obtained for load speeds that do not reach the velocity of the Rayleigh wave in a half-space. When conducting computer experiments, deflections of the gtound surface above the pipeline of shallow laying as well as components of the stress-deformed condition of the pipeline cross section contour at various speeds and periods of a normal axisymmetric sinusoidal load are.calculated. The results are presented in tabular form. The effect of the load movement speed and its period on the stress-deformed condition of the massif surrounding the pipeline is analyzed. A criterion for using a simpler design scheme of the underground pipeline is proposed.

Keywords: underground pipeline, massif, terrestrial surface, cylindrical shell, elastic half-space, periodic load, moving load, load speed, stress-deformed condition

REFERENCES

[1] Erzhanov Zh.S., Aitaliev Sh.M., Alekseeva L.A. *Dinamika tonnelei i podzemnykh truboprovodov* [Dynamics of tunnels and underground pipelines]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1989. 240 p.

[2] Alekseeva L.A. Fundamental'nye reshenija uravnenij dvizhenija uprugogo poluprostranstva pri dozvukovyh begushhih nagruzkah [Fundamental solutions of the equations of movement of an elastic half-space at subsonic running loadings]. *Izvestija NAN RK* [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of physical-mathematical], 2002, no. 5. pp. 53-58.

[3] Alekseeva L.A. Dejstvie stacionarnyh begushhih nagruzok v uprugom poluprostranstve [Action stationary running loads in an elastic half-space]. *Matematicheskij zhurnal – Mathematical Journal*, 2003, no. 1, pp. 18-25.

[4] Ukrainets V.N. *Dinamika tonnelej i truboprovodov melkogo zalozhenija pod vozdejstviem podvizhnyh nagruzok* [Dynamics of tunnels and pipelines under the influence of moving loads]. Pavlodar, Pavlodar State University named Torajgyrov Publ., 2006. 123 p.

[5] Ukrainets V.N. Reakcija uprugogo poluprostranstva na dvizhushhujusja po podkreplennoj polosti skruchivajushhuju nagruzku [Reaction of the elastic half-space to twisting load moving along reinforced by cavity]. *Trudy NGASU* [Proc. of the Novosibirsk State Architectural and Construction University], 2007, no. 1, pp. 43-50.

* *Manuscript received January 29, 2014.*

[6] Alekseeva L.A., Ukrainets V.N. Dinamika uprugogo poluprostranstva s podkreplennoj cilindricheskoj polost'ju pri podvizhnyh nagruzkah [Dynamics of elastic half-space reinforced by a cylindrical cavity under moving loads]. *Prikladnaja mehanika – International Applied Mechanics,* 2009, no. 9. – pp. 75-85.

[7] Ukrainets V.N. Reakcija zemnoj poverhnosti na dvizhushhujusja v tonnele nagruzku [Earth surface response to a load moving in a tunnel]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Mehanika tverdogo tela –Mechanics of Solids: a Journal of Russian Academy of Sciences*, 2009, no. 2 (578), pp. 101-107.

[8] Novackij V. *Teorija uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow, Mir Publ., 1975. 872 p.

[9] Borodavkin P.P. *Podzemnye magistral'nye truboprovody* [Underground pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 384 p.

[10] Bulychev N.S. *Mekhanika podzemnykh sooruzhenii v primerakh i zadachakh* [Mechanics of underground structures in examples and problems]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 270 p.

ISSN 1814-1196, http://journals.nstu.ru/vestnik
Scientific Bulletin of NSTU
Vol. 55, No. 2, 2014, pp. 148–155