УДК 539.3 **DOI: 10.20998/2411-0558.2017.50.12**

Б.А. ХУДАЯРОВ, д-р техн. наук, проф., Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан

Ф.Ж. ТУРАЕВ, асс., Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ВЯЗКОУПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ГРУНТА

В работе решается задача о колебаниях прямолинейных участков трубопровода на базе теории оболочек. Построена математическая модель о параметрических колебаниях вязкоупругих трубопроводов большого диаметра с протекающей пульсирующей жидкостью. Разработан вычислительный алгоритм, основанный на исключении особенностей интегральных и интегро-дифференциальных уравнений с сингулярными ядрами, с последующим использованием квадратурных формул, для решения задач динамики вязкоупругих трубопроводов с протекающей пульсирующей жидкостью. Численно исследовано влияние сингулярности в ядрах наследственности и частоты возбуждения на колебания конструкций, обладающих вязкоупругими свойствами. Ил.: 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: математическая модель; вязкоупругий трубопровод; интегро-дифференциальные уравнения; численное исследование; пульсирующая жидкость.

Постановка проблемы и анализ литературы. Проблема обеспечения высокопрочными трубами для строительства и эксплуатации мощностей по добыче и транспортировке нефти и газа является одной из первоочередных государственных задач. Решение ее начинается с формулировки требований к качеству труб, связанных с повышением надежности и долговечности трубопроводного транспорта. Одним из путей решения этой проблемы является использование в нефтегазовой отрасли труб из различных материалов, в том числе полимеросодержащих [1].

Как известно, магистральные, технологические и промысловые газонефтепроводы представляют собой сложные инженерные конструкции, проложенные во многих республик и регионах СНГ и эксплуатируемые в разнообразнейших природно-климатических условиях. Следует отметить, что подземная, наземная и подводные прокладки трубопроводов, подводные переходы, различные электрохимзащиты от коррозии, особенности технологии строительства и конструктивных решений создают широкий спектр параметров прочности, устойчивости различных участков трубопроводов. В настоящее время при строительстве магистральных трубопроводов широко применяются трубы, изготовленные из различных естественных и искусственных (композитных) материалов. При сложных климатических условиях от проектировщика и расчетчика требуется максимально правильно оценить свойства материала трубы и реального грунта [2].

Задача исследования колебаний трубопровода на упругом и вязкоупругом основании с протекающей в нем жидкостью является весьма сложной. На сегодняшний день разработано множество подходов для решения подобных задач, но ни один из них не дает качественно полного решения задачи гидроупругости в трубопроводной системе в целом. В основном эти подходы описывают отдельные стадии процессов, происходящих в газо-нефтепроводе [3, 4].

Широкое использование новых композиционных материалов в объектах нефтегазовой промышленности, в объектах химического производства, а также других отраслях машиностроения требует дальнейшего совершенствования механических моделей деформируемых тел и разработки методов и методики их расчета с учетом вязкоупругих свойств материала тонкостенных конструкций.

Таким образом, несомненный научный и практический интерес вызывает построение математических моделей, позволяющих исследовать динамические процессы вязкоупругих трубопроводов с протекающей газо-жидкостью с учетом вязкоупругого основания грунта.

Необходимо не только создание математической модели, но и численного алгоритма и компьютерной программы для решения задачи о свободных колебаниях вязкоупругих тонкостенных трубопроводов с учетом вязкоупругого основания грунта.

Рассмотрим поведение трубопровода типа цилиндрической оболочки, внутри которой протекает пульсирующая жидкость. Скорость жидкости $U(t)$ изменяется по закону [5].

Уравнения движения оболочки, полученные в рамках классической теории оболочек [5], с учетом наличия вязкоупругого основания, имеют вид:

$$\left(1-R^*\right)\left\{\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{1-\mu}{2R^2}\frac{\partial^2 u}{\partial\theta^2}+\frac{1+\mu}{2R}\frac{\partial^2 v}{\partial x\partial\theta}+L_1(w)\right\}-\rho\frac{1-\mu^2}{E}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0,$$

$$\left(1-R^*\right)\left\{\frac{1}{R^2}\frac{\partial^2 v}{\partial\theta^2}+\frac{1-\mu}{2}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{1+\mu}{2R}\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial\theta}+L_2(w)\right\}-\rho\frac{1-\mu^2}{E}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}=0, \quad (1)$$

$$D\left(1-R^*\right)\nabla^4 w+L_3^*\left(u,v,w\right)+k_1\left(1-\Gamma^*\right)w+\rho h\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=q,$$

где R^* – интегральный оператор вида: $R^*\varphi(t)=\int\limits_0^t R(t-\tau)\varphi(\tau)d\tau$; $R(t-\tau)$ – ядро релаксации; R – радиус кривизны срединной поверхности; μ – коэффициент Пуассона материала трубы; D – цилиндрическая жесткость трубы; E – модуль упругости материала трубы; ρ – его плотность; k_1 – коэффициент основания Винклера; h – толщина стенки трубы; μ_1 – параметр возбуждения; γ_1 – частота возбуждения; операторы $L_1(w)$, $L_2(w)$ и $L_3^*(u,v,w)$ определены такими:

$$L_1(w)=-\frac{\mu}{R}\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{1+\mu}{2R^2}\frac{\partial w}{\partial\theta}\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial\theta}+\frac{1-\mu}{2R^2}\frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial^2 w}{\partial\theta^2},$$

$$L_2(w)=-\frac{1}{R^2}\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial\theta}\frac{\partial^2 w}{\partial\theta^2}+\frac{1+\mu}{2R}\frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial\theta}+\frac{1-\mu}{2R}\frac{\partial w}{\partial\theta}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2},$$

$$L_3^*(u,v,w)=\left(1-R^*\right)\frac{Eh}{1-\mu^2}\left\{-\frac{\mu}{R}\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{1}{R^2}\frac{\partial v}{\partial\theta}+\frac{w}{R^2}-\frac{\mu}{2R}\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2-\right.$$

$$\left.-\frac{1}{R^3}\left(\frac{\partial w}{\partial\theta}\right)^2\right\}-\frac{Eh}{1-\mu^2}\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{\partial w}{\partial x}\left(1-R^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\mu}{R}\frac{\partial v}{\partial\theta}-\frac{\mu w}{R}\right]+\right.$$

$$\left.+\frac{1-\mu}{2R}\frac{\partial w}{\partial\theta}\left(1-R^*\right)\left(\frac{1}{R}\frac{\partial u}{\partial\theta}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right\}-$$

$$-\frac{Eh}{1-\mu^2}\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial\theta}\left\{\frac{1}{R}\frac{\partial w}{\partial\theta}\left(1-R^*\right)\left[\mu\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{1}{R}\frac{\partial v}{\partial\theta}-\frac{w}{R}\right]+\right.$$

$$\left.+\frac{1-\mu}{2}\frac{\partial w}{\partial x}\left(1-R^*\right)\left(\frac{1}{R}\frac{\partial u}{\partial\theta}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right\},$$

q – давление жидкости на стенку трубопровода

$$q=-\varphi_{\alpha m}^*\,\rho\left(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}+U^2\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right),$$

где $\varphi^*_{\alpha m}\rho$ – присоединенная масса жидкости; m – число волн, образующихся по окружности; α – волновое число или постоянная распространения фазы.

Решение систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений (ИДУ) в частных производных (1) при различных граничных условиях и при наличии сингулярных ядер наследственности представляет собой значительные математические трудности. Поэтому естественным способом решения этих систем является дискретизация по пространственным переменным и получение системы нелинейных ИДУ относительно функций времени.

В связи с этим **целью статьи** является разработка численного метода, позволяющего исследовать влияние геометрических нелинейностей и вязкоупругих свойств материала на колебательные процессы вязкоупругих трубопроводов.

Будем искать приближенное решение системы (1) в виде:

$$u(x,\theta,t)=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}u_{nm}(t)\cos\frac{n\pi x}{L}\sin m\theta,$$

$$v(x,\theta,t)=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}v_{nm}(t)\sin\frac{n\pi x}{L}\cos m\theta, \qquad (2)$$

$$w(x,\theta,t)=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}w_{nm}(t)\sin\frac{n\pi x}{L}\sin m\theta,$$

где $u_{nm}(t)$, $v_{nm}(t)$ и $w_{nm}(t)$ – неизвестные функции времени.

Подставляя (2) в систему (1) и применяя метод Бубнова-Галёркина, получим систему интегро-дифференциальных уравнений:

$$u_{kl}+\left(1-R^*\right)\left\{\left(k^2\pi^2\delta^2\gamma^2+\frac{1-\mu}{2}l^2\delta^2\right)u_{kl}-\frac{1-\mu}{2}kl\pi\gamma\delta^2v_{kl}+\right.$$

$$+\mu\delta^2\gamma^2k\pi w_{kl}+\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}\left(\frac{ni^2\pi^2}{2}\gamma^3\delta+\frac{1-\mu}{2}\frac{nr^2}{2}\gamma\delta\right)\bar{\Delta}_{1klnmir}w_{nm}w_{ir}- \qquad (3)$$

$$\left.-\frac{1+\mu}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}\frac{imr}{2}\gamma\delta\bar{\Delta}_{2klnmir}w_{nm}w_{ir}\right\}=0,$$

$$v_{kl}+\left(1-R^*\right)\left\{\left(\frac{1-\mu}{2}k^2\pi^2\delta^2\gamma^2+l^2\delta^2\right)v_{kl}-\frac{1+\mu}{2}kl\pi\gamma\delta^2 u_{kl}-l\delta^2 w_{kl}-\right.$$

$$-\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}\frac{mr^2}{2\pi}\delta\overline{\Delta}_{3klnmir}w_{nm}w_{ir}+\frac{1+\mu}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}\frac{inr\pi}{2}\gamma^2\delta\overline{\Delta}_{4klnmir}w_{nm}w_{ir}-$$

$$\left.-\frac{1-\mu}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}\frac{i^2m\pi}{2}\gamma^2\overline{\Delta}_{3klnmir}w_{nm}w_{ir}\right\}=0,$$

$$\left(1+\varphi_{\alpha l}^*\right)w_{kl}+\left(1-R^*\right)\left\{\left(\frac{1}{12}\left[k^2\pi^2\gamma^2+l^2\right]^2+\delta^2\right)w_{kl}+\pi\mu\gamma\delta^2 k\,u_{kl}-\right.$$

$$\left.-l\delta^2 v_{kl}-\frac{\delta}{4\pi}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}mr\,\overline{\Delta}_{5klnmir}w_{nm}w_{ir}-\frac{\pi\mu\gamma^2\delta}{4}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}ni\,\overline{\Delta}_{6klnmir}w_{nm}w_{ir}\right\}+$$

$$+\frac{1-\mu}{4}\gamma\delta\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}nw_{nm}\left(1-R^*\right)\left[\gamma\pi irv_{ir}-r^2u_{ir}\right]\overline{\Delta}_{6klnmir}+$$

$$+\frac{\delta}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}mw_{nm}\left(1-R^*\right)\left[ir\mu\gamma\,u_{ir}-\frac{r^2}{\pi}v_{ir}+\frac{r}{\pi}w_{ir}\right]\overline{\Delta}_{5klnmir}+\qquad(3)$$

$$+\frac{1-\mu}{4}\delta\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}mw_{nm}\left(1-R^*\right)\left[ir\gamma\,u_{ir}-\gamma^2i^2\pi\,v_{ir}\right]\overline{\Delta}_{5klnmir}-$$

$$-\frac{\delta}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}nw_{nm}\left(1-R^*\right)\left[ir\mu\gamma^2\pi\,v_{ir}-i^2\gamma^3\pi^2v_{ir}-\mu\pi i\gamma^2w_{ir}\right]\overline{\Delta}_{6klnmir}-$$

$$-\frac{1-\mu}{4}\delta\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}nmw_{nm}\left(1-R^*\right)\left[r\gamma\,u_{ir}-i\gamma^2\pi\,v_{ir}\right]\overline{\Delta}_{7klnmir}-$$

$$-\frac{\delta}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}m^2w_{nm}\left(1-R^*\right)\left[i\mu\gamma\,v_{ir}-\frac{r}{\pi}v_{ir}+\frac{1}{\pi}w_{ir}\right]\overline{\Delta}_{8klnmir}-$$

$$-\frac{\delta}{2}\sum_{n,i=1}^{N}\sum_{m,r=1}^{M}n^2w_{nm}\left(1-R^*\right)\left[i\gamma^3\pi^2\,u_{ir}-\mu r\gamma^2\pi\,v_{ir}+\mu\gamma^2\pi\,w_{ir}\right]\overline{\Delta}_{8klnmir}-$$

$$-\delta^2 M^{*2}\gamma^2 M_E^2 k^2 \pi^2 w_{kl} + \delta^4 k_1 \left(1-\Gamma^*\right) w = 0.$$

$$u_{nm}(0) = u_{0nm},\ \dot{u}_{nm}(0) = \dot{u}_{0nm},\ v_{nm}(0) = v_{0nm}, \tag{3}$$

$$\dot{v}_{nm}(0) = \dot{v}_{0nm},\ w_{nm}(0) = v_{0nm},\ \dot{w}_{nm}(0) = \dot{w}_{0nm}.$$

Решение ИДУ (3) находится численным методом, основанным на использовании квадратурных формул [6 – 9]. Результаты вычислений, отражаются графиками, приведенными на рис. 1 и рис. 2, где показано влияние параметра γ_1 на колебательный процесс при A = 0,01; α = 0,25; β = 0,005; δ = 10; N = 5; M = 2. Из рисунков видно, что увеличение значения частоты возбуждения приводит к увеличению амплитуды и частоты колебаний.

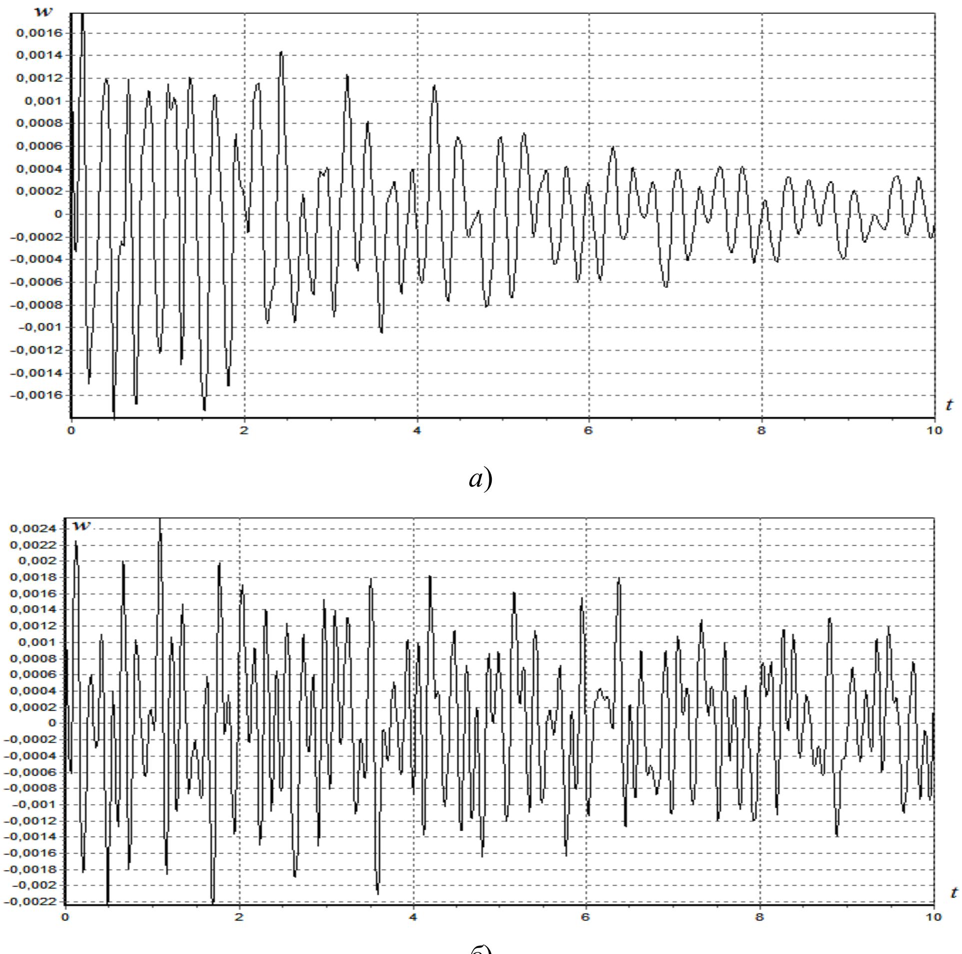

Рис. 1. Зависимость прогиба от времени при γ = 75 Гц (а), γ_1 = 150 Гц (б).

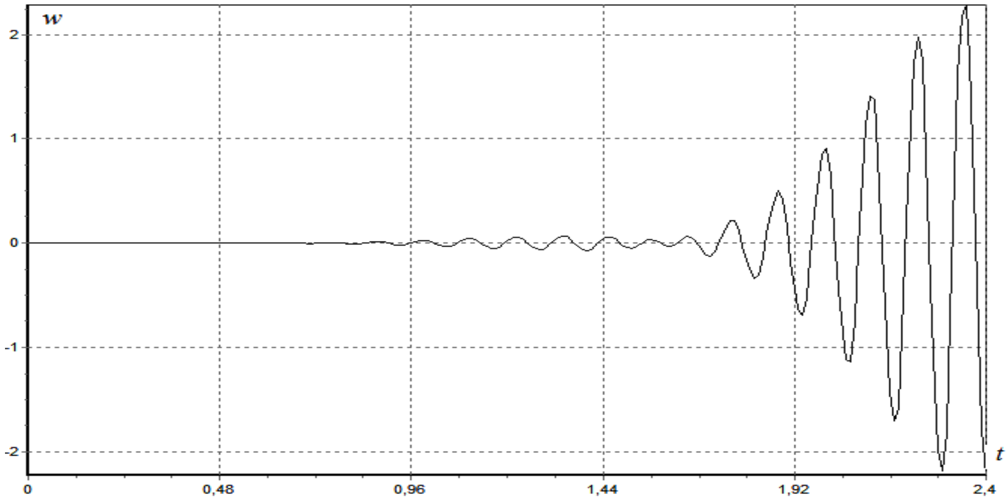

Рис. 2. Зависимость прогиба от времени при $\gamma_1 = 250$ Гц

Здесь $\delta = \dfrac{R}{h}$, $\gamma = \dfrac{R}{L}$, $M^* = \dfrac{U}{V_\infty}$, $M_E = \sqrt{\dfrac{E}{\rho V_\infty^2}}$, V_∞ – скорость звука, $\overline{\Delta}_{jklnmir}$ $(j = 1,...,8)$ – безразмерные коэффициенты.

Выводы. Необходимо отметить, что алгоритм предлагаемого метода позволяет детально исследовать влияние геометрических нелинейностей и вязкоупругих свойств материала конструкций на колебательные процессы вязкоупругих трубопроводов, в частности, при исследовании свободных и параметрических колебаний трубопроводов на базе теории идеально-упругих оболочек.

Список литературы: **1.** *Якубовская С.В.* Явление ползучести и релаксации армированных полиэтиленовых трубопроводов / *С.В. Якубовская, Н.Ю. Сильницкая, Е.Ю. Иванова* // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 1676-1680. **2.** *Гаджиев В.Дж.* Свободное колебание прямоугольного участка неоднородного трубопровода, лежащего на двухконстантном основании / *В.Дж. Гаджиев, С.Р. Расулова, Х.Г. Джафаров* // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13. – № 4. – С. 137-141. **3.** *Vincent O. S. Olunloyo.* Dynamic Response Interaction of Vibrating Offshore Pipeline on Moving Seabed / *O.S. Olunloyo Vincent, A. Osheku Charles and A. Oyediran Ayo* // Journal Offshore Mech. Arct. Eng. – 2006. – Vol. 129 (2). – P. 107-119. **4.** *Limarchenko V.O.* Vibration of a pipeline with liquid under combined vibration perturbations / *V.O. Limarchenko* // Journal of mathematical sciences. – 2014. – Vol. 201. №. 3. – P. 105-125. **5.** *Вольмир А.С.* Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи гидроупругости / *А.С. Вольмир.* – М.: Наука. 1979. – 320 с. **6.** *Бадалов Ф.Б.* Методы решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений наследственной теории вязкоупругости / *Ф.Б. Бадалов.* – Ташкент: Мехнат, 1987. – 269 с. **7.** *Бадалов Ф.Б.* О некоторых методах решения систем интегро-дифференциальных уравнений, встречающихся в задачах вязкоупругости / *Ф.Б. Бадалов, Х. Эшматов,* *М. Юсупов* // Прикладная математика и механика. – 1987. – Т. 51. – № 5. – С. 867-871. **8.** *Худаяров Б.А.* Нелинейный флаттер вязкоупругих отротропных цилиндрических панелей / *Б.А. Худаяров, Н.Г.Бандурин* // Математическое моделирование. – 2005. – Том 17. – № 10. – С. 79-86. **9.** *Бадалов Ф.Б.* Исследование влияния ядра наследственности на решение линейных и нелинейных динамических задач наследственно-деформируемых систем / *Ф.Б. Бадалов, Б.А. Худаяров, А. Абдукаримов* // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2007. – № 4. – С. 107-110.

References:

1. Yakubovskaya, S.V., Silnitsky, N.Yu., and Ivanova, E.Yu. (2015), "The Phenomenon of creep and relaxation of reinforced polyethylene pipes", *Fundamental research,* No. 2, pp. 1676-1680.

2. Hajiyev, V.J., Rasulov, S.R., and Jafarov, Kh.G. (2015) "Free oscillation of a rectangular plot of heterogeneous pipeline, lying on the two constant basis", *Oil and gas business,* Vol. 13, No. 4, pp.137-141.

3. Vincent, O.S. Olunloyo, Charles A. Osheku, and Ayo, A. Oyediran. (2006) "Dynamic Response Interaction of Vibrating Offshore Pipeline on Moving Seabed", *Journal Offshore Mech. Arct. Eng*., No. 129(2), pp. 107-119.

4. Limarchenko, V.O. (2014) "Vibration of a pipeline with liquid under combined vibration perturbations", *Journal of mathematical sciences*, Vol. 201, No. 3, pp. 105-125.

5. Volmir, A.S. (1979), *Shells in the flow of liquid and gas. Problems of hydroelasticity*, Science, Moskow, 320 p.

6. Badalov, F.B. (1987) *Methods of solution of integral and integro-differential equations of hereditary theory of viscoelasticity*, Mexnat, Tashkent, 269 p.

7. Badalov F.B., Eshmatov H., and Yusupov M. (1987) "About some methods for solving systems of integro-differential equations encountered in problems of viscoelasticity" *Journal of Applied mathematics and mechanics*, Vol. 51, No. 5, pp. 867-871.

8. Khudayarov B.A., Bandurin N.G. (2005), "Nonlinear flutter of viscoelastic cylindrical panels urotropine", *Mathematical modeling*, Vol.17, No. 10, pp. 79-86.

9. Badalov F.B., Khudayarov B.A., Abdukarimov A. (2007), "Study of the influence of the kernel of heredity on the solution of linear and nonlinear dynamic problems hereditary-deformable systems", *Problems of mechanical engineering and reliability of machines,* No. 4, pp. 107-110.

Статью представил д-р физ.-мат. наук, проф. Наримов Н.

Поступила (received) 10.11.2017

Khudayarov Bakhtiyar, Dr. Sci. Tech, Prof.
Tashkent Institute of Agricultural Irrigation and Mechanization,
Str. Kari-Niyazov, 39, Tashkent, Uzbekistan, 050010,
Tel: +99897-721-07-14, e-mail: bakht-flpo@yandex.com

Тураев Ф.Ж., ass.
Tashkent Institute of Agricultural Irrigation and Mechanization,
Str. Kari-Niyazov, 39, Tashkent, Uzbekistan, 050010,
Tel: +99897-721-07-14, e-mail: bakht-flpo@yandex.com

УДК 539.3

Чисельне дослідження коливань трубопроводів з урахуванням в'язкопружного підстави грунту / Худаяров Б.А., Тураєв Ф.Ж. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 66 – 74.

Вирішується задача про коливання прямолінійних ділянок трубопроводу на базі теорії оболонок. Побудовано математичну модель про параметричні коливання в'язкопружних трубопроводів великого діаметру з протікаючою пульсуючою рідиною. Розроблено обчислювальний алгоритм, заснований на виключенні особливостей інтегральних та інтегро-диференціальних рівнянь з сингулярними ядрами, з подальшим використанням квадратурних формул, для вирішення завдань динаміки в'язкопружних трубопроводів. Чисельно досліджені вплив сингулярності в ядрах спадковості і частоти збудження на коливання конструкцій, що володіють в'язкопружні властивостями. Іл.:2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключевые слова: математична модель; вязкопружний трубопровід; інтегро-дифференціальні рівняння; чисельне дослідженя; пульсуюча рідина.

УДК 539.3

Численное исследование колебаний трубопроводов с учетом вязкоупругого основания грунта / Худаяров Б.А., Тураев Ф.Ж. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 66 – 74.

Решается задача о колебаниях прямолинейных участков трубопровода на базе теории оболочек. Построена математическая модель о параметрических колебаниях вязкоупругих трубопроводов большого диаметра с протекающей пульсирующей жидкостью. Разработан вычислительный алгоритм, основанный на исключении особенностей интегральных и интегро-дифференциальных уравнений с сингулярными ядрами, с последующим использованием квадратурных формул, для решения задач динамики вязкоупругих трубопроводов. Численно исследовано влияние сингулярности в ядрах наследственности и частоты возбуждения на колебания конструкций, обладающих вязкоупругими свойствами. Ил.:2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: математическая модель; вязкоупругий трубопровод; интегро-дифференциальные уравнения; численное исследование; пульсирующая жидкость.

UDC 539.3

Numerical study of the vibrations of pipelines taking into account the viscoelastic base of the soil / Khudayarov B.A., Turaev F.Dg. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – № 50 (1271). – P. 66 – 74.

The problem of oscillations of rectilinear pipeline sections based on shell theory is solved. A mathematical model of the problem of parametric oscillations of viscoelastic large diameter pipelines with a flowing pulsating fluid is constructed. A computational algorithm based on eliminating the singularities of integral and integro-differential equations with singular kernels was developed, followed by the use of quadrature formulas, to solve the problems of the dynamics of viscoelastic pipelines with a flowing pulsating liquid. The influence of singularity in the heredity nuclei and the frequency of excitation on the vibrations of structures possessing viscoelastic properties are numerically investigated. Figs.: 1. Refs.: 9 titles.

Keywords: mathematical model; viscoelastic pipelines; integro-differential equations; numerical investigation; pulsating fluid.