

## **ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА РАДИАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОПРОВОДА ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ**

Запропоновано рівняння радіальних вісісиметричних коливань трубопроводу гідротранспортного комплексу з шаром криги на внутрішній поверхні, яке враховує властивості матеріалу труби, зміни тиску гідросуміші, товщину шару криги та присутність в ньому часток матеріалу, що транспортується.

### **THE INTERNAL ICE-COVERING INFLUENCE ON HYDROTRANSPORT PLANT PIPELINE RADIAL OSCILLATIONS**

The equation of radial oscillations of hydrotransport plant pipeline with ice on layer an internal surface is offered which takes into account pipeline, material properties hydromixtures, pressure changes ice layer thickness and transporting material particles presence in ice layer.

Гидротранспортные комплексы получили широкое распространение на горнодобывающих и горно-обогатительных предприятиях Украины. Преимущества гидравлического транспорта позволяют успешно его использовать для доставки минерального сырья от места добычи к месту переработки, перемещения промежуточных продуктов и технической воды внутри фабрик, а также для удаления отходов обогащения в специальные хранилища [1, 2].

Основными недостатками этого вида транспорта являются трудности эксплуатации в зимний период года, а также вредное воздействие динамических и нестационарных процессов, возникающих при запуске и остановке [3]. Известно, что в зимний период года внутренняя поверхность трубопровода покрывается слоем льда, что увеличивает гидравлическое сопротивление магистрали и может явиться причиной аварийной остановки комплекса. Другой, наиболее частой причиной отказов является разрушение элементов магистрали при гидравлических ударах или вследствие колебаний давления и расхода, которые вызываются колебаниями концентрации гидросмеси или параметров трубопровода.

За последнее десятилетие протяженность магистралей гидротранспортных систем значительно возросла, увеличились диаметры прокладываемых трубопроводов и мощность устанавливаемых насосов. Эти факторы усилили влияние указанных недостатков гидравлического транспорта, что привело к усилению колебательных процессов при работе, а также к возрастанию энергоемкости процесса в зимнее время года и аварийных простоев по причине разрушения трубопровода [3].

Устранение этих недостатков позволило бы существенно повысить эффективность гидротранспортных комплексов на горных предприятиях, поскольку эксплуатационные затраты данного вида транспорта составляют около 40% себестоимости переработки минерального сырья [1-3]. При этом воздействовать на слой льда внутри трубопровода можно исключительно изменениями свойств

потока гидросмеси, используя для этого возникающие в трубопроводе динамические и нестационарные процессы [3, 4].

Для решения задачи разрушения слоя внутреннего обледенения трубопровода гидротранспортного комплекса за счет специально генерируемых в магистрали нестационарных процессов требуется исследовать динамику колебаний трубопровода с внутренним слоем льда, оценить собственные частоты колебаний и величину вынуждающей силы. Это позволит в дальнейшем рассчитать параметры разрушения слоя внутреннего оледенения при нестационарных процессах внутри трубопровода.

Согласно известным постулатам теории упругости трубопровод гидротранспортной установки в первом приближении можно считать тонкостенной двухслойной упругой оболочкой, для которой наиболее существенными являются колебания стенки в радиальном направлении [5].

Для вывода уравнения колебаний вырежем элемент трубопровода длиной  $a$ , и рассмотрим его сечение со слоем льда на внутренней поверхности стенки (рис. 1) [6].

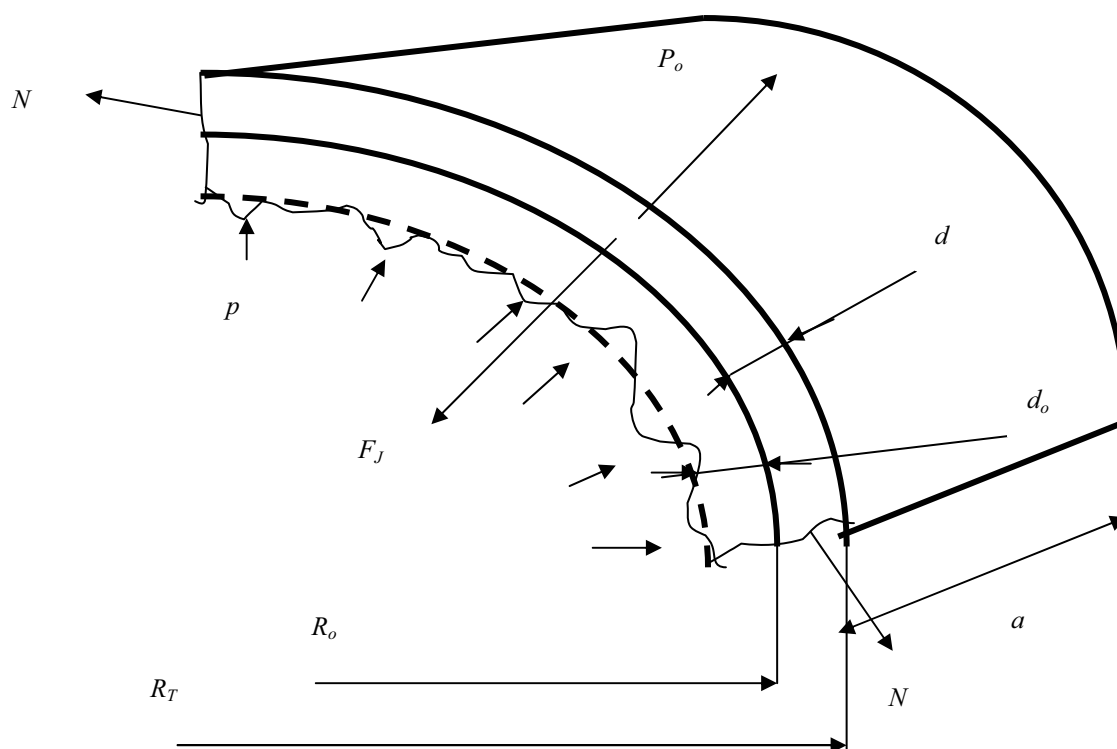


Рис. 1 – Элемент сечения трубопровода со слоем внутреннего обледенения

При изменении давления внутри трубопровода на выделенный элемент, состоящий из стенки трубы и слоя льда на ней, действуют сила давления гидросмеси ( $P_o$ ), сила инерции ( $F_J$ ) и сила упругости ( $N$ ). Все эти силы приводятся к радиусу центра тяжести сечения элемента (рис. 2), который вычисляется по формуле

$$r_o = R_T (1 - 0.5\delta) \frac{1 + \lambda r}{1 + \lambda}; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{1 - \delta}{\delta} \Delta; \quad r = \frac{1 - 0.5\delta - \Delta}{1 - 0.5\delta}; \quad \delta = \frac{d}{R_T}; \quad \Delta = \frac{d_o}{R_T},$$

где  $r_o$  - радиус центра тяжести рассматриваемого элемента;  $R_T$  - наружный радиус сечения трубы;  $\lambda$  - коэффициент, учитывающий толщину слоя льда (рис. 3);  $d$  - толщина стенки трубы;  $d_o$  - толщина слоя льда.

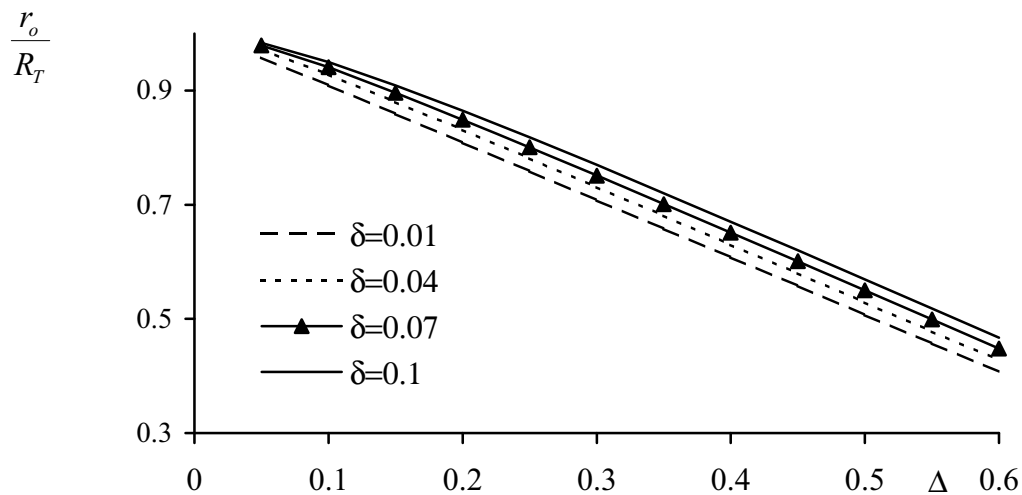


Рис. 2 – Зависимость относительного радиуса центра тяжести элемента от относительной толщины слоя льда

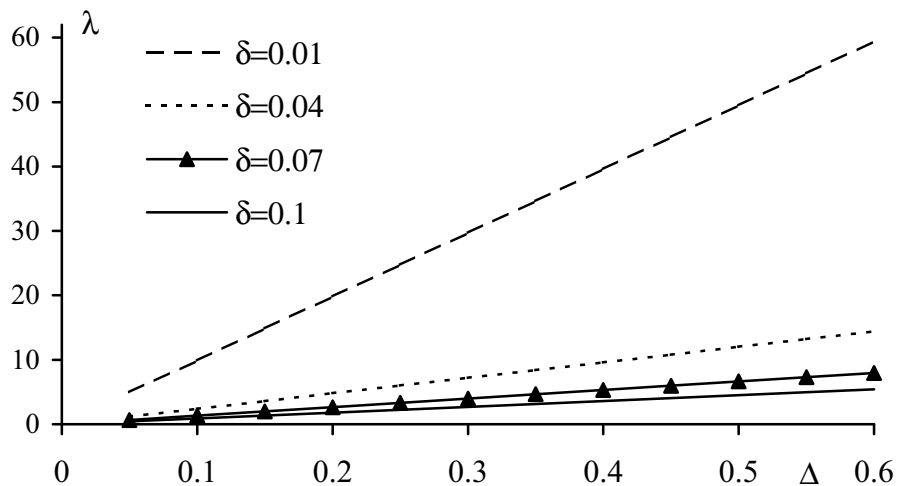


Рис. 3 – Зависимость коэффициента  $\lambda$  от относительной толщины слоя льда

Величины сил, действующих на выделенный элемент, можно выразить через его радиальное перемещение на основе известных соотношений теории тонкостенных оболочек по формулам [5, 6]

$$F_J = adR_T \rho_T \frac{d^2 w}{dt^2} (1 + \rho \lambda); \quad (2)$$

$$P_o = par_o; \quad (3)$$

$$N = \frac{adE_T}{R_T} \frac{(1 + \mu/e)}{(1 - 0.5\delta)} w; \quad (4)$$

$$\rho = \frac{\rho_o}{\rho_T} (1 - \varphi) + \frac{\rho_M}{\rho_T} \varphi; \quad \mu = \frac{(1 - 0.5\delta)\Delta}{\delta(1 - 0.5\delta - \Delta)}; \quad e = \frac{E_T}{E_o},$$

где:  $a$  - длина выделенного элемента;  $\rho_T$  - плотность материала трубы;  $w$  - радиальное перемещение выделенного элемента;  $t$  - время;  $\rho$  - относительная плотность слоя льда с учетом содержания в нем частиц транспортируемого материала;  $p$  - давление в трубопроводе;  $E_T$  - модуль упругости материала трубы;  $\rho_o$  - плотность льда;  $\varphi$  - объемная доля транспортируемого материала в слое льда;  $\rho_M$  - плотность транспортируемого материала;  $E_o$  - модуль упругость льда;  $\mu$  - коэффициент, учитывающий влияние толщины слоя льда на жесткостные параметры элемента (рис. 4).

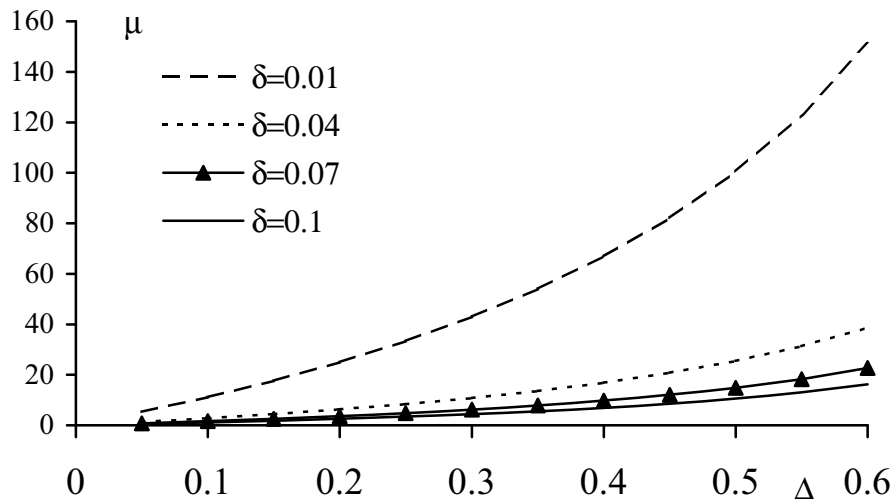


Рис. 4 – Зависимость коэффициента  $\mu$  от относительной толщины слоя льда

С учетом формул (2)-(4) уравнение колебаний элемента запишется в виде:

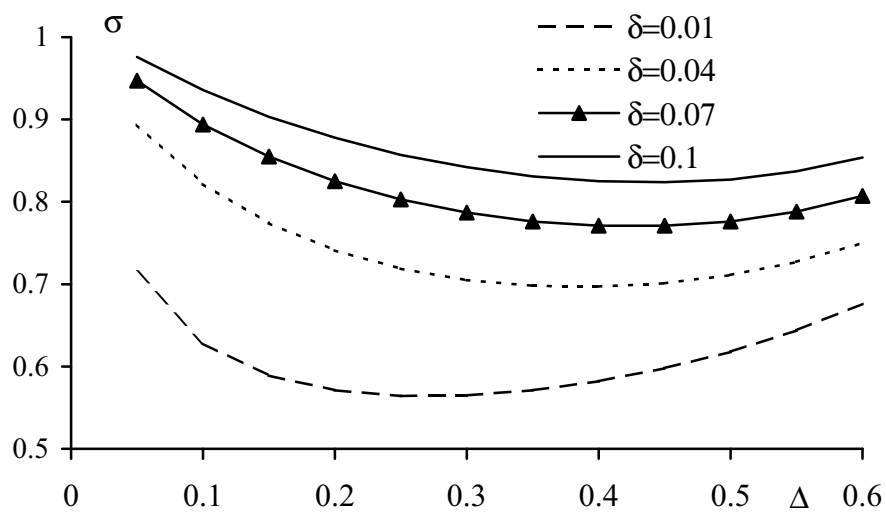
$$\frac{d^2 w}{dt^2} + \sigma^2 \omega_T^2 w = \varepsilon_T \psi; \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1 + \mu/e}{(1 - 0.5\delta)(1 + \rho\lambda)}}; \quad (6)$$

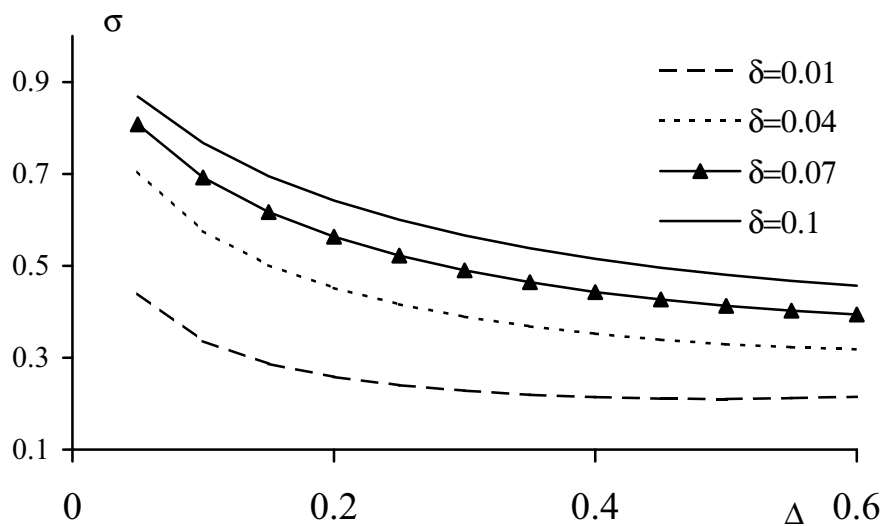
$$\psi = \frac{1 - 0.5\delta - \Delta}{1 + \rho\lambda}; \quad (7)$$

$$\omega_T = \sqrt{\frac{E_T}{\rho_T R_T^2}}; \quad \varepsilon_T = \frac{p}{\rho_T d},$$

где  $\sigma$  - коэффициент, учитывающий влияние слоя льда на собственную частоту колебаний трубопровода с внутренним оледенением (рис. 5);  $\psi$  - коэффициент, учитывающий влияние слоя льда на вынуждающую силу (рис. 6).



а)

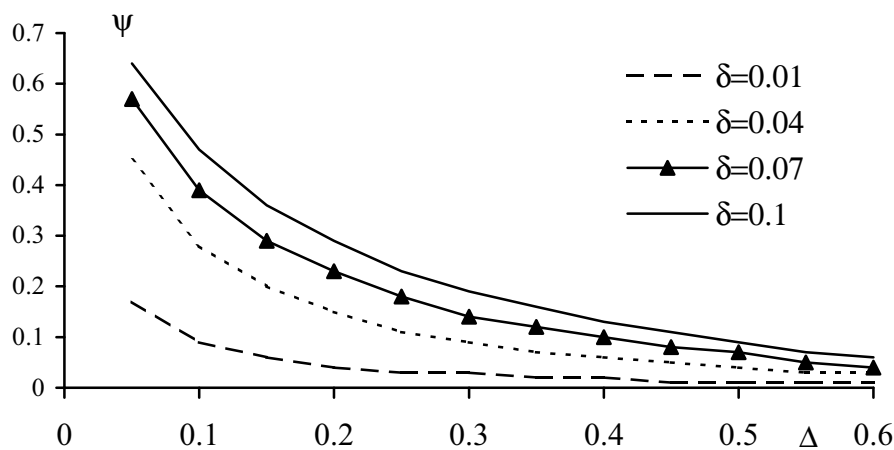


б)

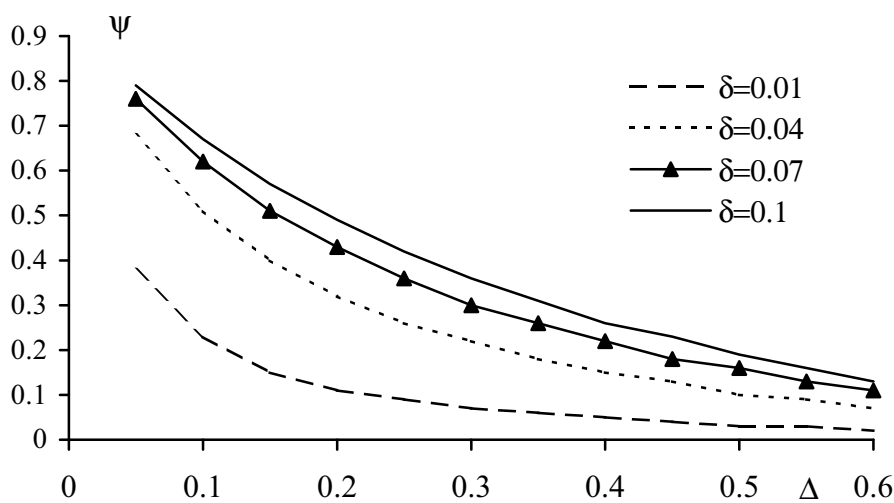
Рис. 5 – Зависимость коэффициента собственной частоты колебаний трубы с внутренним оледенением от относительной толщины льда:

Значения  $e$  и  $\rho$  принимаются соответственно: на рис.5а -  $e=20$  и  $\rho=0.3$ ; на рис. 5б -  $e=100$  и  $\rho=0.9$

В уравнении (5) параметры  $\omega_T$  и  $\varepsilon_T$  зависят только от параметров трубы, а коэффициенты  $\sigma$  и  $\psi$  учитывают влияние слоя внутреннего обледенения. Если слой льда отсутствует,  $\sigma$  и  $\psi$  равны единице, и уравнение (5) преобразуется в известное уравнение радиальных колебаний тонкостенной оболочки [5, 6]. Из рис. 5 и 6 видно, что толщина льда оказывает влияние, как на собственную частоту колебаний, так и на вынуждающую силу. При этом с увеличением  $\Delta$  собственная частота колебаний снижается меньше, чем коэффициент вынуждающей силы, характеризующий ее амплитуду.



а)



б)

Рис. 6 – Зависимость коэффициента вынуждающей силы от относительной толщины льда: а) -  $\rho=0.9$ ; б) -  $\rho=0.3$

Решение уравнения (5) зависит от вида функции  $p(t)$  [5, 6]. Определив радиальное перемещение стенки трубопровода со слоем льда, соответствующие напряжения в каждом из рассматриваемых слоев можно рассчитать по известным соотношениям теории тонкостенных оболочек [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы: Справочное пособие – М.: Недра, 1991. – 304 с.
2. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 191 с.
3. Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, Д.Г. Сулаберидзе, Л.А. Алехин. – М.: Недра, 1984. – 216 с.
4. Семенов Е.В., Семенов В.П. Очистка поверхности трубопровода гидротранспортной установки от льда гидроударом // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 2001. - Вып.№ 26. - С. 103 - 108.
5. Прочность, устойчивость, колебания: Справочное пособие: в 3 Т.- Т.1// Под ред. И.А. Биргера. – М.: Машиностроение, 1968. – 832 с.
6. Макеев Е.М., Семенов В.П. Прочность, жесткость и устойчивость составной оболочечной конструкции при поперечном локальном нагружении // Сб. н. тр. «Надежность и прочность технических систем». – К.: Наукова думка, 1976. – С. 132 – 147.

УДК 622.235.5

В.Д. Петренко, И.Л. Кратковский,  
Л.А. Логвина

### **ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ЗАБОЙКИ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВА**

Приведено методику розрахунку динамічних та кінематичних параметрів висадження свердловинних зарядів різного ступеня бризантності з урахуванням їхньої дії в ближній зоні вибуху і на межі «заряд-набійка»

### **THE INFLUENCE PROPERTIES OF EXPLOSIVES AND STEMMING TO THE POWER PARAMETERS OF EXPLOSION**

The technique of calculation of dynamic and kinematics parameters of a hole blasting of a different degree of brisance with allowance for their operations in a near-field region of explosion and on border “charge-stemming” is adduced

Известно, что тип взрывчатого вещества (ВВ) и забойки существенно влияет на параметры начального давления в зарядной полости и время воздействия продуктов детонации на разрушаемый массив [1, 2]. Поэтому они являются важными факторами управления параметрами (амплитудой и длительностью) взрывного импульса. При этом тип ВВ изменяет параметрами взрывного нагружения, а забойка улучшает условия протекания взрывного превращения и снижает объемы выбросов вредных газов в атмосферу.

Оценим скоростные характеристики движения забойки и время запираения продуктов взрыва в цилиндрической зарядной полости, расположенной в горной породе с высокими прочностными свойствами, приведенными в табл. 1.

Считаем, что сдвижение забойки начинается после того, как в забоечном материале произошли процессы уплотнения и разгрузки, вызванные ударной волной, возникающей при заполнении взрывной полости образующимися при детонации ВВ газами. После этого забойка движется внутри полости под действием переменной силы, вызванной давлением газов  $P(v)$  и сил бокового распора и трения забойки о стенки полости.