

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ ЖИДКОСТИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ТРУБОПРОВОДА ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА НЕФТЕПРОВОДА

Филиппова В.Р.¹, Поздеев А.Г.² Email: Filippova693@scientifictext.ru

¹Филиппова Валерия Родионовна – магистрант;

²Поздеев Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор,
кафедра строительных конструкций и водоснабжения,
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола

Аннотация: на основании вычисления числа Струхала определены характеристики вихрей дорожки Бенара-Кармана и вычислены величины подъемной силы при колебаниях трубопровода в потоке. На основе сплайн-интерполяции построены зависимости коэффициента присоединенной массы жидкости от величины расстояния между нижней поверхностью трубы и дном. Определены характеристики численных значений присоединенных масс в зависимости от относительного расстояния между свободной поверхностью воды и верхней частью трубы.

Ключевые слова: число Струхала, вихревая дорожка, колебания трубопровода, подводный переход, сплайн-интерполяция, присоединенная масса жидкости, MathCad.

AUTOMATED CALCULATION OF ADDED-LIQUID MASS FOR OIL PIPELINE VIBRATIONS IN UNDERWATER PASSAGE

Filippova V.R.¹, Pozdeev A.G.²

¹Filippova Valeriya Rodionovna – Master's Degree Student;

²Pozdeev Anatoliy Gennadiyevich – Doctor of Engineering, Professor,
DEPARTMENT OF BUILDING STRUCTURES AND WATER SUPPLY,
VOLGA STATE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
YOSHKAR-OLA

Abstract: based on the calculation of the Strouhal number, the characteristics of the Benard-von Karman vortices are determined, and the values of the lifting force for pipeline vibrations in the flow are calculated. Based on the spline interpolation, the dependence of the added-liquid mass coefficient on the distance between the lower surface of the pipe and the bottom is constructed. Characteristics of numerical values of added-liquid masses are determined depending on the relative distance between the free water surface and the upper surface of the pipe.

Keywords: Strouhal number, vortex street, pipeline vibrations, underwater passage, spline interpolation, added-liquid mass, MathCad.

УДК 622.691, 539.3

В процессе движения водного потока в створе подводных переходов нередко наблюдаются размывы слабо укрепленного донного грунта [5]. Обнажение участков трубопровода вызывает отрывное обтекание потока с образованием вихревых дорожек Бенара-Кармана [3]. Реакцией трубопровода на подобные вихревые образования является возникновение вынужденных колебаний [2], частота которых может быть вычислена по зависимости Струхала. При расчетах динамического воздействия потока на трубопровод важной характеристикой является величина присоединенной массы, которая определяется увеличением кажущейся массы обтекаемого объекта за счет воздействия прилегающего к нему возмущенного объема жидкости.

Целью работы является автоматизированный расчет присоединенной массы жидкости при отрывном обтекании трубопровода водным потоком в среде MathCad [4].

В качестве **метода решения** используется сплайн-аппроксимация зависимости коэффициента присоединенной массы жидкости от величины расстояния между нижней поверхностью трубы и дном.

Ниже приведен листинг расчета гидродинамического воздействия на трубопровод, обтекаемый потоком в MathCad, полученный на основе табличных данных работы [1].

Частота колебаний трубопровода $n := 0.015$ Гц.

Число Рейнольдса $Re := 6.78 \times 10^4$.

В динамическом режиме при $Re > 2 \cdot 10^5$ частота переменного давления и колебаний совпадает с частотой срыва вихрей Бенара-Кармана, определяемой зависимостью Струхала

$$Sh := \frac{n \cdot D_H}{v} = 0.197.$$

Амплитуда колебаний $y_0 := 0.02$ м.

Коэффициент подъемной силы при колебаниях трубопровода в потоке

$$C_{yп} := 0.2 + 1.15 \cdot \frac{y_0}{D_H} - 0.9 \cdot \left(\frac{y_0}{D_H} \right)^3 = 0.223.$$

Переменная гидродинамическая сила

$$P_{yп} := 0.5 \cdot C_{yп} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_H = 0.681 \text{ Н/м.}$$

Определим зависимость коэффициента присоединенной массы μ от относительного расстояния от свободной поверхности воды до верхней поверхности трубы $\frac{h}{D_H}$ (рис. 1).

Табличное значение относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы $s_{отн1} = h/D_H$

$$Tабs_{отн1} := (0 \quad 0.25 \quad 0.50 \quad 0.75 \quad 1.00 \quad 1.25 \quad 1.50 \quad 1.75)^T.$$

Табличное значение коэффициента присоединенной массы μ

$$Tаб\mu_1 := (-0.1 \quad 0.42 \quad 0.80 \quad 0.87 \quad 0.90 \quad 0.95 \quad 1.02 \quad 1.15)^T,$$

$$Tаб\mu_2 := (-0.1 \quad 0.55 \quad 0.88 \quad 0.95 \quad 0.98 \quad 1.04 \quad 1.1 \quad 1.18)^T,$$

$$Tаб\mu_3 := (-0.1 \quad 0.7 \quad 0.95 \quad 1.05 \quad 1.08 \quad 1.12 \quad 1.14 \quad 1.18)^T.$$

Сплайн-интерполяция зависимости коэффициента присоединенной массы μ от относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы $\frac{h}{D_H}$

$$\begin{aligned} v\mu_1 &:= \text{pspline}(Tабs_{отн1}, Tаб\mu_1) \\ \mu_1(s_{отн1}) &:= \text{int erp}(v\mu_1, Tабs_{отн1}, Tаб\mu_1, s_{отн1}), \\ v\mu_2 &:= \text{pspline}(Tабs_{отн1}, Tаб\mu_2) \\ \mu_2(s_{отн1}) &:= \text{int erp}(v\mu_2, Tабs_{отн1}, Tаб\mu_2, s_{отн1}), \\ v\mu_3 &:= \text{pspline}(Tабs_{отн1}, Tаб\mu_3) \\ \mu_3(s_{отн1}) &:= \text{int erp}(v\mu_3, Tабs_{отн1}, Tаб\mu_3, s_{отн1}). \\ s_{отн1} &:= 0, 0.1..1.75 \end{aligned}$$

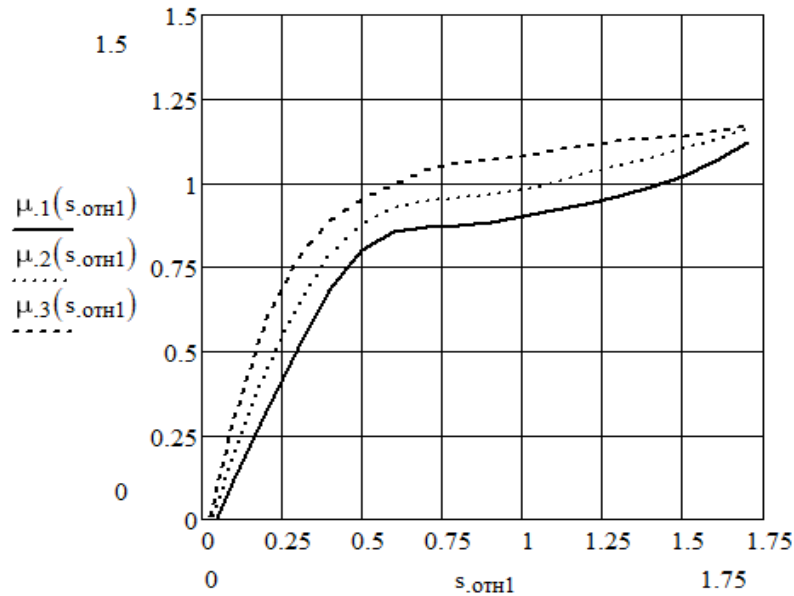


Рис. 1. График зависимости коэффициента присоединенной массы от относительного расстояния от дна трюма до нижней поверхности трубы

Толщина стенки трубы $\delta := 0.014$ м.

Плотность нефтепродуктов в объеме единицы длины трубы

$$\rho_H := 780 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность материала трубы $\rho_T := 7800$ кг/м³.

Масса стали в объеме единицы длины трубы

$$m_{CT} := \rho_T \cdot \pi \cdot D_H \cdot \delta = 349.923 \text{ кг/м.}$$

Масса жидкости в объеме единицы длины трубы

$$m_V := \rho_H \cdot \pi \cdot \frac{(D_H - 2 \cdot \delta)^2}{4} = 602.848 \text{ кг/м.}$$

Масса жидкости и трубы на единицу длины трубы

$$m := m_V + m_{CT} = 952.771 \text{ кг/м.}$$

Относительное расстояние от свободной поверхности воды до верхней поверхности трубы

$$s_{отн1} := \frac{h}{D_H} = 2.941,$$

$$\text{при отношении } \frac{s}{D_H} = 0,5 \quad \mu_1 := \mu_1(s_{отн1}),$$

$$\text{при отношении } \frac{s}{D_H} = 1 \quad \mu_2 := \mu_2(s_{отн1}),$$

$$\text{при отношении } \frac{s}{D_H} > 1 \quad \mu_3 := \mu_3(s_{отн1}),$$

$$\mu := \begin{cases} \mu_1 & \text{if } 0 < s_{отн1} \leq 0.5 \\ \mu_2 & \text{if } 0.5 < s_{отн1} \leq 1 \\ \mu_2 & \text{if } 1 < s_{отн1} \\ \mu_2 & \text{otherwise} \end{cases},$$

$$\mu = 1.943.$$

Присоединенная масса жидкости $m_{\text{пр}} := \mu \cdot m = 1.851 \times 10^3$ кг/м.

Выводы. В процессе расчета определяются число Струхалья, коэффициент и величина подъемной силы при колебаниях трубопровода в потоке.

Вводятся численные значения относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы и табличные значения присоединенной массы. По этим численным данным производится сплайн-аппроксимация зависимости коэффициента присоединенной массы от относительного расстояния от дна траншеи до нижней поверхности трубы.

С учетом относительного расстояния от свободной поверхности потока до верхней поверхности трубы вычисляется присоединенная масса жидкости.

Список литературы / References

1. *Бородавкин П.П., Ким Б.И.* Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1981. 345 с.
2. *Девнин С.И.* Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций: справочник. Л.: Судостроение. 1983. 320 с.
3. *Жуковский Н.Е.* Собр. соч. Т. IV. М.-Л.: ГИТТЛ, 1949. 652 с.
4. *Макаров Е.Г.* Инженерные расчеты в Matchcad. Учебный курс. СПб.: Питер, 2003. 448 с.
5. *Поздеев А.Г., Кузнецова Ю.А., Лоскутов Ю.В., Трухан А.Е., Крашенинников В.В.* Анализ русловых процессов для обоснования экологической безопасности подводных переходов нефтепроводов // Мелиорация и водное хозяйство. № 2, 2011. С. 39–42.