

Расчет строительных конструкций

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ МЕЖДУ ТЯЖЕЛОВЕСНЫМИ ГРУЗАМИ, ПРОПУСКАЕМЫМИ ПО РОССИЙСКОМУ ПОНТОННОМУ МОСТУ – ЛЕНТЕ ТИПА ПМП

П.М. САЛАМАХИН, *д-р. техн. наук, профессор, академик РАТ*
НГУЕН МАНЬ ТХЫОНГ, *канд. техн. наук,*
МАДИ (ГТУ)

В статье на основе известной теории балок на упругом основании разработана методика определения допустимой дистанции между тяжеловесными грузами, пропускаемыми по российскому понтонному мосту – ленте типа ПМП и приведен пример её использования при решении практической задачи для условий Социалистической Республики Вьетнам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дифференциальное уравнение балки на упругом основании, понтонный мост лента типа ПМП, допустимые дистанции между тяжеловесными транспортными средствами по условиям осадки и прочности понтонов.

1. Введение

В Социалистической Республике Вьетнам в настоящее время иногда для пропуска грузов через реки используется российский наплавной мост-лента типа ПМП. При пропуске колон тяжеловесных грузов, при этом необходимо строго контролировать дистанцию между ними с учетом соблюдения условий прочности несущих элементов моста и осадки моста в целом. Для решения этой задачи воспользуемся широко известными научными работами [1, 2]. Ниже приведены теоретические основы требуемой методики расчета.

2. Теоретические основы требуемой методики

Наплавной мост ПМП с позиций строительной механики представляет собой балку на сплошном упругом основании. Известно [1, 2], что напряженно-деформированное состояние таких балок описывается дифференциальным уравнением

$$EIy^{IV} = p - ky, \quad (1)$$

где EI – жесткость балки при изгибе, y – осадка балки; ky – упругая реакция основания, k – жесткость основания, p – равномерно распределенная нагрузка на балку.

При внешней нагрузке $p = 0$, уравнение (1) обычно представляется в виде (2)

$$y^{IV} + \frac{ky}{EI} = 0. \quad (2)$$

Комплексные корни его характеристического уравнения $\beta^4 + \frac{k}{EI} = 0$ имеют вид:

$$\beta(1+i); \beta(-1+i); \beta(-1-i); \beta(1-i), \quad (3)$$

что позволяет общее решение уравнения (2) представить в виде:

$$y = C_1 e^{\beta x} \cos \beta x + C_2 e^{\beta x} \sin \beta x + C_3 e^{-\beta x} \cos \beta x + C_4 e^{-\beta x} \sin \beta x, \quad (4)$$

где β – изгибная характеристика,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}, \quad (5)$$

$C_1; C_2; C_3; C_4$ – постоянные интегрирования, определяемые по известным данным при решении каждой конкретной задачи.

Для важного на практике частного случая загрузки балки на упругом основании сосредоточенным грузом $P = 1$ (рис. 1) с учетом симметрии напряженного состояния относительно точки приложения силы произвольные постоянные для ветви балки при $x \geq 0$ получены во многих российских работах [2- 6] по следующим условиям:

1. Осадка y балки при $x \rightarrow +\infty$ равна нулю.
2. Угол поворота балки $\alpha = y'$ при $x = 0$ в силу обратной симметрии равен нулю.
3. Поперечная сила в балке при $x = 0$ равна $Q = -EIy''' = -P/2 = -0.5$.

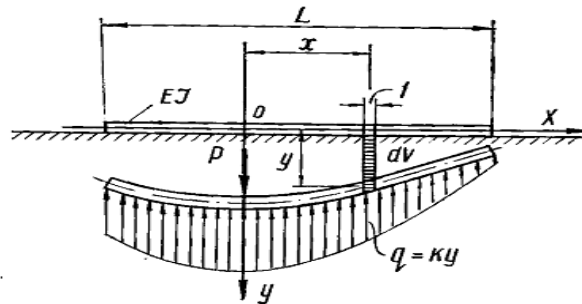


Рис 1. Схема изгиба балки на сплошном упругом основании при $P = 1$

Первое условие определяет необходимость принятия $C_1 = C_2 = 0$ так как $e^{\beta x} \rightarrow \infty$. Тогда

$$y = C_3 e^{-\beta x} \cos \beta x + C_4 e^{-\beta x} \sin \beta x. \quad (6)$$

Из второго и третьего условий получена [2] система уравнений:

$$\begin{cases} \alpha = y' = \beta e^{-\beta x} [C_4 (\cos \beta x - \sin \beta x) - C_3 (\cos \beta x + \sin \beta x)] = 0 \\ Q = -EI \cdot y''' = -2EI\beta^3 e^{-\beta x} [C_3 (\cos \beta x - \sin \beta x) + C_4 (\sin \beta x + \cos \beta x)] = -0,5 \end{cases} \quad (7)$$

которая при $x = 0$ приобретает вид:

$$\begin{cases} C_4 - C_3 = 0 \\ -2EI\beta^3 (C_3 + C_4) = -0,5 \end{cases} \quad (8)$$

откуда
$$C_3 = C_4 = \frac{1}{8EI\beta^3} = \frac{\beta}{8EI\beta^4} = \frac{\beta}{8EI \frac{k}{4EI}} = \frac{\beta}{2k}. \quad (9)$$

С учетом полученных значений постоянных интегрирования $C_1; C_2; C_3; C_4$ получены [2] необходимые для практических расчетов балок бесконечной длины на упругом основании уравнения, которые могут быть использованы для расчета наплавных мостов-лент:

1. Уравнение y_{ox} упругой линии по координате x балки, нагруженной единичной нагрузкой при $x = 0$ (эпюра осадки балки), которая одновременно является [2] уравнением y_{xo} линии влияния осадки (рис. 2) для сечения балки при $x = 0$ при координатах x движущегося единичного груза. :

$$y = \frac{\beta}{2k} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x). \quad (10)$$

2. Уравнение M_{ox} изгибающего момента по координате x балки, нагруженной единичной нагрузкой при $x = 0$ (эпюра изгибающего момента в балке), которая одновременно является уравнением M_{xo} линии влияния изгибающего момента (рис. 2) для сечения балки $x = 0$ при координатах x движущегося единичного груза:

$$M = \frac{1}{4\beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x). \quad (11)$$

Из условий $y = 0$ и $M = 0$ по формулам (10) и (11) получены значения $X_{0y} = \frac{3\pi}{4\beta}$ и $X_{0m} = \frac{\pi}{4\beta}$, свидетельствующие о том, что длина линии влияния осадки с положительными ординатами в 3 раза длиннее соответствующего участка линии влияния изгибающего момента, что имеет важное практическое значение.

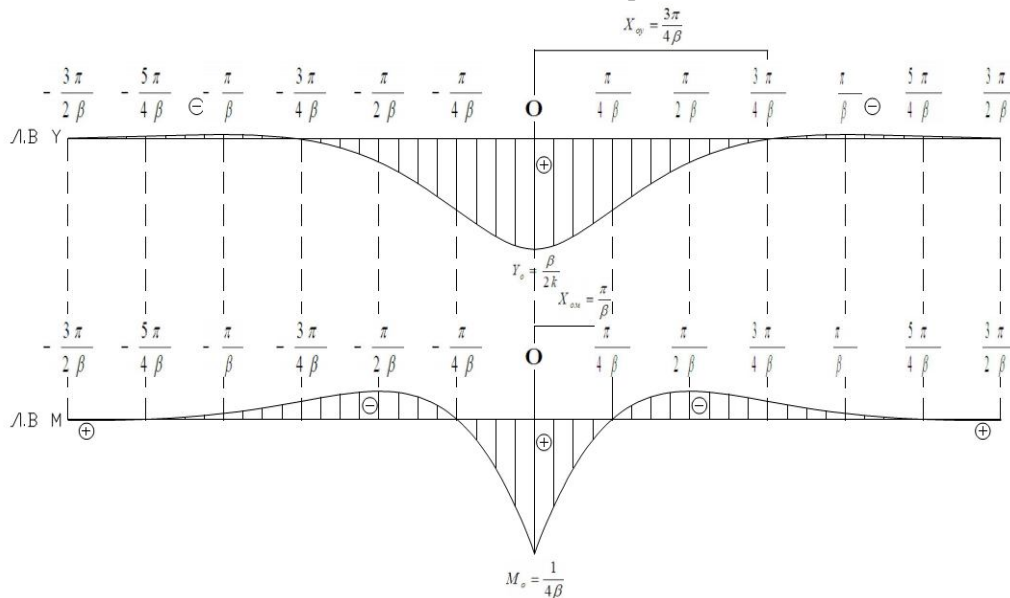


Рис 2. Линии влияния осадки и изгибающего момента для балки бесконечной длины на сплошном упругом основании

Из работы [3] известно, что

- численное значение $k = B_0 \cdot \gamma$ для ПМП (где B_0 – расчетная его ширина, γ - плотность воды), составляет $k = 6,26 \text{ м} / \text{м}^2$;
- момент инерции I поперечного сечения понтона ПМП определяется по осредненному его значению $J_{cp} = 320000 \text{ см}^4$;
- численное значение β для наплавного моста ПМП, не имеющего зазоров в стыках, равно $\beta = 0,0695$, а для имеющих зазоры в стыках составляет $\beta_\alpha = 0,08$.

Основными расчетными факторами, определяющими работоспособность наплавного моста, являются осадка $-T$ и изгибающий момент $-M$.

Величина осадки может быть получена при загрузении линии влияния распределенными нагрузками по формуле

$$T = \sum q_i \Omega_i, \quad (12)$$

где q_i - интенсивность нагрузки; Ω_i - площадь участка линии влияния, находящегося под нагрузкой q_i .

Величины осадки и изгибающего момента от временной нагрузки в виде автопоезда могут быть определены по очевидным формулам:

$$T_{ep} = \sum P_i \cdot y_i = \frac{\beta}{2k} \cdot \sum P_i \cdot e^{-\beta x_i} \cdot (\cos \beta x_i + \sin \beta x_i), \quad (13)$$

$$M_{ep} = \sum P_i \cdot y_i = \frac{1}{4\beta} \cdot \sum P_i \cdot e^{-\beta x_i} \cdot (\cos \beta x_i - \sin \beta x_i). \quad (14)$$

3. Методика и пример определения допустимой дистанции между тяжеловесными грузами, пропускаемыми по понтонному мосту -ленте

Пусть необходимо определить возможные дистанции между тяжеловесными автопоездами массой 58 т (рис. 3), при пропуске их по 60-ти тонному понтонному мосту –ленте ПМП.

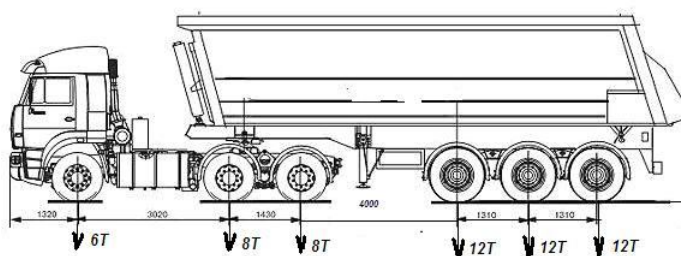


Рис. 3 Тяжеловесное транспортное средство

1. Учтем, что величина осадки от собственного веса для моста-ленты ПМП составляет $T_{cn} = 18,5 \text{ см}$, допускаемое значение осадки для ПМП $[T] = 65 \text{ см}$ с учетом собственного веса, а допускаемое значение осадки для ПМП от временной нагрузки $[T_{ep}] = 65 - 18,5 = 46,5 \text{ см}$.

2. Определим затем возможное значение изгибающего момента от временной нагрузки, загружая линию влияния изгибающего момента проектной расчетной нагрузкой, в качестве которой является танк массой 60т длиной 5м. Он оказывается равным $[M_{ep}] = 151,7 \text{ тм}$.

3. Изменяя дистанции между автопоездами в пределах от 4 до 12 м с шагом 1 м, загружая линии влияния осадки (рис.4) и изгибающего момента(рис.5) при этих дистанциях и, вычисляя по формулам (13) и (14) соответствующие значения осадок и изгибающих моментов, строим соответствующие графики на рис 6 и 7, нанеся на них соответствующие допускаемые значения осадки и изгибающего момента

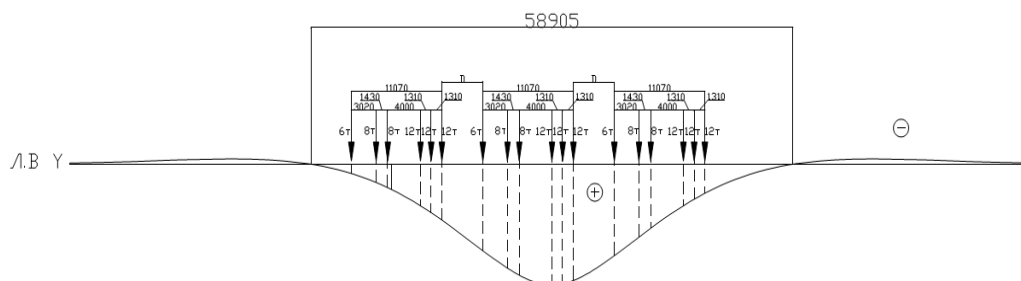


Рис. 4. Схема загрузки линии влияния осадки ПМП колонной автопоездов

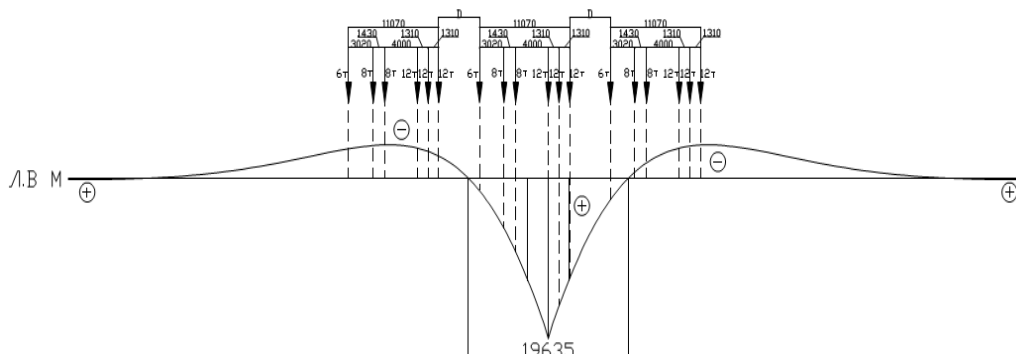


Рис. 5. Схема загрузки линии влияния изгибающего момента в ПМП колонной автопоездов

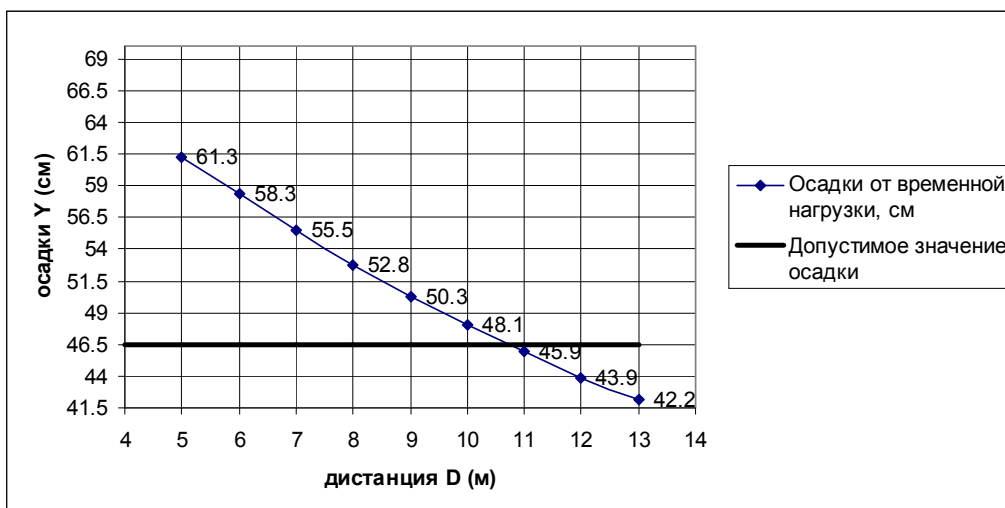


Рис. 6. Зависимость осадки ПМП от дистанции между пропускаемыми автопоездами

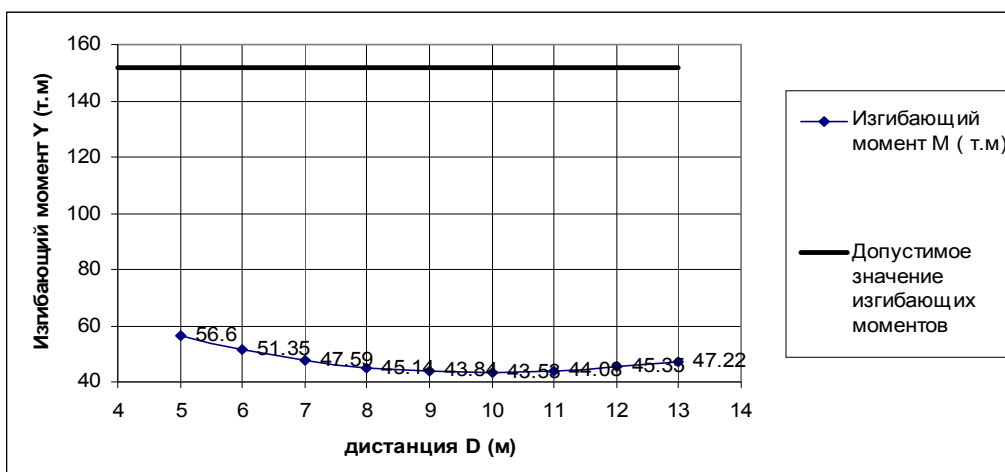


Рис.7. Зависимость изгибающего момента в ПМП от дистанции между пропускаемыми автопоездами

4. При рассмотрении графика возникающей осадки на рис. 6 устанавливаем, что с увеличением дистанции между автопоездами в принятом диапазоне осадка закономерно уменьшается и достигает допустимого значения при дистанции $D \geq 10,8 м$.

5. При рассмотрении графика возникающего изгибающего момента на рис. 7 устанавливаем, что во всем рассмотренном диапазоне дистанции между автопоездами изгибающий момент в понтоне ПМП достигает не более 37% возможного его значения, что свидетельствует о том, что условие прочности понтона удовлетворяется с избытком, Это происходит в связи с тем, что соседние со средним автопоезда при этих дистанциях находятся на участках линии влияния изгибающего момента с отрицательными значениями их ординат, что оказывает разгружающее воздействие. На линии влияния осадки это не происходит, так как участок с положительными значениями ординат на ней длиннее в три раза.

Выводы:

1. На основе известных теоретических работ предложен возможный вариант методики определения допустимой дистанции между тяжеловесными грузами, пропускаемыми по российскому понтонному мосту – ленте типа ПМП.

2. В рассмотренном примере при использовании предложенной методики установлено, что допустимая дистанция между рассмотренными тяжеловесными автопоездами составляет $D \geq 10,8 м$ по условию допускаемой осадки понтонов ПМП грузоподъемностью 60 т.

Л и т е р а т у р а

1. *Winkler E.* Die Lehre von der Elastizitet und Festigkait, Prague, s. 182. 1867
2. *Крылов А.Н.* О расчете балок, лежащих на упругом основании. – Ленинград.: Изд-во Академии Наук СССР, 1931.
3. *Давыдов Н.Г.* Наплавные мосты и паромные переправы. – М.: МАДИ-ГУ, 1994. - 88с.
4. *Yu-huai Hou, Fang-zhen Song, Ru-jian Ma.* Dynamic Simulation of Vehicle Floating Bridge System Based on ADAMS// Proc. ICMTMA '09 Proceedings of the 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. – Vol. 02. – P. 212-216.

References

1. *Winkler, E.* (1867). *Die Lehre von der Elastizitet und Festigkait, Prague*, s. 182.
2. *Krylov, A.N.* (1931). *On Analysis of Beams Lying on Elastic Base.* Leningrad: Izd-vo AN SSSR.
3. *Davydov, N.G.* (1994). *Floating Bridge and Automobile Ferry.* Moscow: MADI-TU, 88 p.
4. *Yu-huai Hou, Fang-zhen Song, Ru-jian Ma* (2009). Dynamic Simulation of Vehicle Floating Bridge System Based on ADAMS. Proc. ICMTMA '09 Proceedings of the 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Vol. 02, p. 212-216

DETERMINATION OF ALLOWABLE DISTANCE BETWEEN THE VERY HEAVY TRUCKS PASSED THROUGH THE RUSSIAN PMP FLOATING BRIDGE

P.M. SALAMAKHIN, NGUEN MAN THYONG
MADI (GTU), Moscow

The paper based on the known theory of beams on elastic foundation develops a methodology determining the permissible distance between very heavy trucks passing through the Russian PMP floating bridge and gives an example of its using in solving practical problems for the conditions of the Socialist Republic of Vietnam.

KEY WORDS: differential equation of a beam on an elastic foundation, PMP floating bridge, permissible distance between very heavy trucks, automobile ferry.