

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-64-71>

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИТА НА ПАРАМЕТРЫ ГИДРОУДАРА

В. В. МОЖАРОВСКИЙ<sup>†</sup>, С. В. КИРГИНЦЕВА

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, ул. Советская, 104, 246028, г. Гомель, Беларусь

*Цель работы — построение методики расчета и определение влияния величины объемного содержания армирующих волокон и угла армирования (ламинирования) трубы на параметры гидравлического удара.*

*Решается задача компьютерной реализации определения скорости волны, напора и расхода жидкости методом характеристик при гидравлическом ударе при течении жидкости в композитных трубах, армированных волокнами под углом  $\varphi$ . Для нахождения деформации трубы из композита найдены эффективные модули упругости через объемное содержание волокон в матрице и через их упругие постоянные (модуль упругости и коэффициент Пуассона). Проведено тестирование предложенной методики расчета по динамике ударного взаимодействия с помощью формул, предложенных известным российским ученым Н. Е. Жуковским. Отмечено, что основной составляющей, влияющей на изменение скорости ударной волны, является объемное содержание волокон; изменение угла  $\varphi$  частично влияет на величину скорости при большем проценте содержания волокон. Показана необходимость проведения компьютерного расчета скорости, напора для оптимизации применяемых материалов труб и предотвращения гидравлических скачков давлений в трубопроводах с целью защиты от разрушений.*

**Ключевые слова:** труба, полимерный композит, армирование, угол ламинирования, скорость волны, давление, деформация, метод характеристик.

## THE EFFECT OF COMPOSITE PIPE REINFORCEMENT ON WATER HAMMER PARAMETERS

V. V. MOZHAROVSKY<sup>†</sup>, S. V. KIRHINTSAVA

Francisk Skorina Gomel State University, Sovetskaya St., 104, 246028, Gomel, Belarus

*The aim of the work is to develop a calculation method and determine the influence of the volume content of reinforcing fibers and the angle of reinforcement (lamination) of the pipe on the parameters of hydraulic shock.*

*In this paper, a calculation method is constructed, and the influence of the volume content of reinforcing fibers in the pipe and the angle of reinforcement (lamination) on the parameters of hydraulic shock is determined. The problem of computer implementation of determining the wave velocity, pressure and flow rate of a liquid by the method of characteristics under hydraulic shock during the flow of liquid in composite pipes reinforced with fibers at an angle of  $\varphi$  is solved. To find the deformation of a composite pipe, effective elastic modulus is found through the volume content of fibers in the matrix and through their elastic constants (elastic modulus and Poisson's ratio). The proposed calculation method for the dynamics of shock interaction was tested using formulas proposed by the famous Russian scientist N.E. Zhukovsky. It was noted that the main component of the component affecting changes in the velocity of the shock wave is the volume content of fibers, changes in the angle  $\varphi$  partially affect the velocity value with a higher percentage of fiber content. It is shown that it is necessary to carry out computer calculations of velocity and pressure to optimize the pipe materials used and prevent hydraulic pressure surges in pipelines in order to protect against damage.*

<sup>†</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: mozh@gsu.by

**Keywords:** pipe, polymer composite, reinforcement, lamination angle, wave velocity, pressure, deformation, method of characteristics.

Поступила в редакцию 01.07.2024

© В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева, 2024

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)  
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь  
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus  
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: [polmattex@gmail.com](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

### Образец цитирования:

Можаровский В. В., Киргинцева С. В. Влияние армирования труб из композита на параметры гидроудара // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 3. С. 64–71. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-64-71>

### Citation sample:

Mozharovskiy V. V., Kirgintseva S. V. Vliyanie armirovaniya trub iz kompozita na parametry gidroudara [The effect of composite pipe reinforcement on water hammer parameters]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2024, vol. 10, no. 3, pp. 64–71. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-64-71>

### Литература

1. Жуковский Н. Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. Москва ; Ленинград : Гостехтеорлитиздат, 1949. 104 с.
2. Mahdy M. Analysis of Water Hammer Using Method of Characteristics for Different Pipes Material // *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 2019, vol. VIII, is. I, pp. 18–26.
3. Tita V., Caliri M. F. Jr., Massaroppi E. Jr. Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes // *Materials Research*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 70–80. doi: 10.1590/S1516-14392011005000092
4. Wan W., Mao X. Shock Wave Speed and Transient Response of PE Pipe with Steel-Mesh Reinforcement // *Shock and Vibration*, 2016, is. 1. doi: 10.1155/2016/8705031
5. Garg Rahul Kr., Kumar Arun. Analysis of Hydraulic Transients in a Reservoir-Valve-Pipeline Arrangement by Using Method of Characteristics (MOC) // *International Conference Advancement in Technologies & its applications in Current Era (ICATACE-2018) : Conference Paper*, April 2018. India, 2018.
6. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. Москва : Наука, 1977. 416 с.
7. Можаровский В. В., Старжинский В. Е. Прикладная механика слоистых тел из композитов. Минск : Наука и техника, 1988. 270 с.
8. Можаровский В. В., Киргинцева С. В. Скорость волны при гидроударе и напряженно-деформированное состояние слоистых футерованных труб из ортотропных материалов // *Проблемы физики, математики и техники*. 2022. № 2 (51). С. 44–51. doi: 10.54341/20778708\_2022\_2\_51\_44
9. Можаровский В. В., Киргинцева С. В. Влияние схем армирования трубы из композита на скорость волны при гидравлическом ударе // *Проблемы физики, математики и техники*. 2023. № 3 (56). С. 21–25. doi: 10.54341/20778708\_2023\_3\_56\_21
10. Можаровский В. В., Киргинцева С. В. Влияние расположения волокон в трубе из композита на параметры гидравлического удара // *Проблемы физики, математики и техники*. 2023. № 4 (57). С. 30–35. doi: 10.54341/20778708\_2023\_4\_57\_30
11. Evangelista F., Hernandez S., Mambretti S., Parola D. Wave celerity in hydraulic transients computation for cipp-rehabilitated pipes // *Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 326–340.
12. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. Москва : Мир, 1982. 334 с.
13. Water hammer Calculation Excel Sheet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.coursehero.com/file/46340495/Water-Hammer-Calculationxls/> (дата обращения: 15.05.2023).

### References

1. Zhukovskiy N. E. *O gidravlicheskom udare v vodoprovodnykh trubakh* [About hydraulic shock in water pipes]. Moscow ; Leningrad : Gostekhtheorlitizdat Publ., 1949. 104 p.
2. Mahdy M. Analysis of Water Hammer Using Method of Characteristics for Different Pipes Material. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 2019, vol. VIII, is. I, pp. 18–26.

3. Tita V., Caliri M. F. Jr., Massaroppi E. Jr. Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes. *Materials Research*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 70–80. doi: 10.1590/S1516-14392011005000092
  4. Wan W., Mao X. Shock Wave Speed and Transient Response of PE Pipe with Steel-Mesh Reinforcement. *Shock and Vibration*, 2016, is. 1. doi: 10.1155/2016/8705031
  5. Garg Rahul Kr., Kumar Arun. Analysis of Hydraulic Transients in a Reservoir-Valve-Pipeline Arrangement by Using Method of Characteristics (MOC). *International Conference Advancement in Technologies & its applications in Current Era (ICATAACE-2018)*. India, 2018.
  6. Lekhnitskiy S. G. *Teoriya uprugosti anizotropnogo tela* [Theory of elasticity of an anisotropic body]. Moscow : Nauka Publ., 1977. 416 p.
  7. Mozharovskiy V. V., Starzhinskiy V. E. *Prikladnaya mekhanika sloistykh tel iz kompozitov* [Applied mechanics of layered bodies made of composites]. Minsk : Nauka i tekhnika Publ., 1988. 270 p.
  8. Mozharovskiy V. V., Kirgintseva S. V. Skorost' volny pri gidroudare napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sloistykh futerovannykh trub iz ortotropnykh materialov [The wave velocity during a hydraulic shock and the stress-strain state of layered lined pipes made of orthotropic materials]. *Problemy fiziki, matematiki i tekhniki* [Problems of Mathematics, Physics and Technics], 2022, no. 2 (51), pp. 44–51. doi: 10.54341/20778708\_2022\_2\_51\_44
  9. Mozharovskiy V. V., Kirgintseva S. V. Vliyanie skhem armirovaniya truby iz kompozita na skorost' volny pri gidravlicheskom udare [The effect of composite pipe reinforcement schemes on the wave velocity during hydraulic shock]. *Problemy fiziki, matematiki i tekhniki* [Problems of Mathematics, Physics and Technics], 2023, no. 3 (56), pp. 21–25. doi: 10.54341/20778708\_2023\_3\_56\_21
  10. Mozharovskiy V. V., Kirgintseva S. V. Vliyanie raspolozheniya volokon v trube iz kompozita na parametry gidravlicheskogo udara [The effect of the arrangement of fibers in a composite pipe on the parameters of hydraulic shock]. *Problemy fiziki, matematiki i tekhniki* [Problems of Mathematics, Physics and Technics], 2023, no. 4 (57), pp. 30–35. doi: 10.54341/20778708\_2023\_4\_57\_30
  11. Evangelista F., Hernandez S., Mambretti S., Parola D. Wave celerity in hydraulic transients computation for cipp-rehabilitated pipes. *Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas.*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 326–340.
  12. Kristensen R. *Vvedenie v mekhaniku kompozitov* [Introduction to the mechanics of composites]. Moscow : Mir Publ, 1982. 334 p.
  13. Water hammer Calculation Excel Sheet (2023). Available at: <https://www.coursehero.com/file/46340495/Water-Hammer-Calculationxls/> (accessed 15 May 2023).
-